



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA
SUSTENTÁVEL ASSOCIADAS À INTERVENÇÃO DA PAISAGEM URBANA EM UM
ESTACIONAMENTO NO CAMPUS I DA UFPB**

FLAVIA NASCIMENTO GOMES

JOÃO PESSOA

2018

Flavia Nascimento Gomes

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA
SUSTENTÁVEL ASSOCIADAS À INTERVENÇÃO DA PAISAGEM URBANA EM UM
ESTACIONAMENTO NO CAMPUS I DA UFPB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal da Paraíba, como pré-requisito
para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz

JOÃO PESSOA

2018

G633a Gomes, Flavia Nascimento

Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem urbana sustentável associadas à intervenção da paisagem urbana em um estacionamento no Campus I da UFPB. / Flavia Nascimento Gomes. – João Pessoa, 2018.

102f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental)
Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Trincheira de Infiltração 2. Pavimentos Permeáveis. 3. Método da Curva Envelope

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 504:624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

FLAVIA NASCIMENTO GOMES

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL ASSOCIADAS À INTERVENÇÃO DA PAISAGEM URBANA EM UM ESTACIONAMENTO NO CAMPUS I DA UFPB

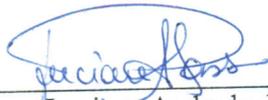
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 07/06/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Adriano Rolim da Paz

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental-DECA/UFPB

APROVADO



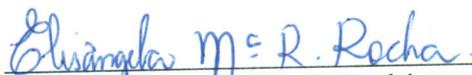
Luciana Andrade dos Passos
UFPB

APROVADA



Ana Cristina Souza da Silva
UFPB

APROVADA



Profa. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Obrigada Deus. Obrigada por ter trilhado um caminho tão paradoxalmente retilíneo e sinuoso, tão certo e tão conflituoso, tão fácil de enxergar as soluções e tão cheio de decisões difíceis a serem tomadas, sem dúvida, os extremos me fizeram mais forte. Hoje sei que os obstáculos são necessários e apenas antecedem as vitórias.

Obrigada Deuselice Maria Nascimento Gomes e Marcelo Gomes, meus pais, as melhores pessoas que já conheci, tão fortes, tão revolucionários, tão bondosos, tão exagerados e ao mesmo tempo tão simples, amantes da engenharia da vida e da natureza. Eles me carregam no colo. São meus anjos na Terra. Quero ser igual, mas só consigo tentar imitá-los.

Obrigada Flávio, Felipe e Fagner (Nascimento Gomes), meus irmãos, cada um com sua habilidade, não apenas na minha graduação, mas por toda minha vida, foram meus pilares.

Obrigada Vinicius Sobral do Vale, que em 2014, como meu namorado, foi o responsável pela frase “o tempo vai passar, daqui a três anos você pode ser engenheira ou não ser engenheira, é só decidir o que quer ser”, e eu sempre quis ser engenheira, que de 2015 até 2017, como meu noivo, precisou viver junto comigo as renúncias inerentes as minhas escolhas. Hoje, em 2018, como meu esposo, comemora comigo esta realização. E que por todo esse tempo, sendo a melhor pessoa que eu precisava ter ao lado.

Obrigada Germana Guimarães Gomes, Dayse Lúcid Nascimento Silveira de Souza e Jonalle Brito, que aqui representam todo o apoio oferecido por toda a minha enorme família.

Obrigada minhas queridas amigas Isabelle Meira, Clara Arruda e Beatriz Maia que em 2017 estiveram ao meu lado e me apoiaram na decisão mais difícil da minha graduação.

Obrigada Brenner Felipe Melo Lima Gomes, Lairanne Costa de Oliveira e Raqueline Caldas do Nascimento, pessoas especiais e essenciais durante a minha trajetória acadêmica, com quem tive o prazer e o privilégio de dividir as boas risadas, os desesperos, o cansaço e a vontade de receber o diploma.

Obrigada Luciana Andrade dos Passos, por ter sido fundamental na realização deste estudo e obrigada Ana Cristina Souza da Silva por representar todos os docentes responsáveis pela minha formação, na minha banca de avaliação.

Por fim, obrigada Adriano Rolim da Paz, não apenas por ter me dado a oportunidade de ser sua orientanda, mas também pela positividade, pelo entusiasmo, pela paciência em ensinar, sempre questionando e nos estimulando a questionar também, desde o início do curso.

Aos meus avós (♥), a base da minha família.

RESUMO

Partindo do planejamento sustentável e resiliente das cidades, muitos problemas decorrentes das mudanças climáticas e ações antrópicas podem ser resolvidos ou amenizados. Para isto é possível fazer uso de técnicas, abordagens ou dispositivos que se assemelham aos processos naturais, no intuito de resolver questões como os problemas ocasionados pelo escoamento superficial em excesso. Esta pesquisa trata da inserção de dispositivos de drenagem urbana sustentável de modo interdisciplinar com o projeto de intervenção da paisagem urbana. A área de estudo corresponde a uma parte do Centro de Tecnologia (CT) e a uma parte do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). A partir de uma proposta de remodelação de *layout*, verificou-se o comportamento de estruturas de infiltração em três cenários distintos. O primeiro cenário adotou trincheiras de infiltração. No segundo cenário foram empregados os pavimentos permeáveis, com diferentes tipos de revestimentos. Para o terceiro cenário essas duas estruturas foram utilizadas em conjunto. O desenvolvimento do projeto deu-se com a utilização do Método da Curva Envelope para o dimensionamento das estruturas, e para análise de custos aplicou-se o Método do Custo Efetivo Total, que considera os possíveis custos para toda a vida útil do sistema (planejamento, construção, manutenção, monitoramento e desativação). Além do dimensionamento e dos custos, de modo subjetivo, a partir de ponderações disponíveis na literatura, os benefícios esperados foram quantificados. Com tais dados, verificou-se a relação do custo por área drenada pelos dispositivos, analisou-se qual valor é necessário para reduzir a vazão de pico e uma análise de custo-benefício foi estabelecida. Observa-se que ao proceder com uma avaliação completa, o primeiro cenário apresentou redução na vazão de pico de 43%, o segundo, 46%, e o terceiro cenário a redução equivale a 52% da vazão de pico relativamente à situação atual da área de estudo. O preço por metro quadrado, o custo da redução da vazão e a relação custo-benefício se mostraram mais atrativos no cenário composto apenas por trincheiras de infiltração. De toda forma, em todos os cenários foram identificados a redução da vazão de pico quando comparadas ao cenário atual. Além disso, espera-se que com a inserção desse tipo de estrutura benefícios financeiros, ambientais e sociais sejam observados.

Palavras-chave: Drenagem Sustentável, Trincheira de Infiltração, Método da curva envelope.

ABSTRACT

Starting from the sustainable and resilient cities planning, many problems arising from climate change and human actions can be solved or mitigated. For this, it is possible to make use of techniques, approaches or devices that resemble natural processes, in order to solve problems such as those caused by excess surface runoff. This research deals with the sustainable urban drainage devices insertion into an interdisciplinary way with the urban landscape intervention project. The study area corresponds to a part of the Center for Technology (CT) and a part of the Center of Renewable and Alternative Energies (CEAR) of the Federal University of Paraíba (UFPB). It was verified the behavior of infiltration structures in three different scenarios, based on a proposal of layout remodeling. On the first scenario infiltration trenches were adopted. On the second, permeable pavements were used with different covering types. For the third scenario both structures were used together. The development of the project was carried out using the Envelope Curve Method for the structures design and the Total Effective Cost Method was applied for the cost analysis, which considers the possible costs for the system entire life (planning, construction, maintenance, monitoring and deactivation). In addition to the structural dimensioning and costs the expected benefits were quantified subjectively, based on the weights available in the literature. With those data, the cost per area drained by the devices relation and what value is necessary to reduce the peak flow were analyzed and a cost-benefit analysis was established. It was observed that when proceeding with a complete evaluation the first scenario showed a peak flow reduction of 43%, for the second, 46% and for the third scenario the reduction was equivalent to 52% of the current peak flow of the study area. The price per square meter, the cost of the flow reduction and the cost-benefit ratio were more attractive in the scenario composed only by infiltration trenches. However, in all the scenarios, the peak flow was reduced when compared with the current scenario. Therefore, it is expected that adopting this type of structure leads to financial, environmental and social benefits.

Keywords: Infiltration Trench, Permeable Pavements, Rain-envelope-method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Tipos de pavimentos permeáveis quanto ao tipo de revestimentos.	16
Figura 2 Tipos de pavimentos permeáveis, quanto ao armazenamento e infiltração.	17
Figura 3 Corte transversal e perspectiva de uma trincheira de infiltração.	22
Figura 4 Custo de Vida de um Sistema de Drenagem Urbana Sustentável.	25
Figura 5 Etapas metodológicas.	32
Figura 6 Localização Geográfica da área de Estudo.	33
Figura 7 Pontos com problemas de alagamento e inundação na área urbana, João Pessoa- PB	34
Figura 8 Topografia da área de estudo	36
Figura 9 Área de estudo sem intervenções- Cenário BASE	41
Figura 10 Microdrenagem da área de estudo.	42
Figura 11 Proposta de <i>layout</i> para a área de estudo- Cenário URB	43
Figura 12 Divisão da área de estudo em sub-bacias.	45
Figura 13 Planificação da trincheira de infiltração para o filtro e o geotêxtil.	46
Figura 14 Proposta de adequação ao <i>layout</i> proposto por OLIVEIRA (2017), para a adequação aos requisitos de drenagem.	49
Figura 15 Disposição das trincheiras para o <i>layout</i> final.	54
Figura 16 Áreas destinadas a pavimentação permeável.	55
Figura 17 Profundidade do pavimento permeável referente às sub-bacias 8 e 10.	62
Figura 18 <i>Layout</i> final para o cenário TRIN+PAV.	67
Figura 19 Área de abrangência das estruturas para os cenários TRIN, PAV e TRIN+PAV.	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Objetivos, tipologias adotadas e designações para o projeto de Drenagem Urbana Sustentável.....	8
Quadro 2 Tipo de pavimento indicado para determinadas áreas de inserção.	16
Quadro 3 Vantagens e desvantagens no uso de trincheiras de infiltração.....	21
Quadro 4 Comparação dos benefícios gerados por pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.....	29
Quadro 5 Benefícios esperados com o uso de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.....	29
Quadro 6 Características das trincheiras de infiltração comparadas as características dos pavimentos permeáveis.....	30
Quadro 7 Eficiência das trincheiras de infiltração e dos pavimentos permeáveis quanto à remoção de poluentes.	30
Quadro 8 Descrição, relevância e aspectos estudados nos cenários 1, 2 e 3.....	40
Quadro 9 Resumo das características para os cenários TRIN, PAV e TRIN+PAV	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Porcentagem por tipologia de uso e ocupação de solo verificada no cenário sem intervenção arquitetônica -Cenário BASE	50
Gráfico 2 Porcentagem por tipologia de uso e ocupação de solo verificada no cenário com intervenção arquitetônica- Cenário URB	51
Gráfico 3 Porcentagem por tipologia de uso e ocupação de solo verificada no cenário DREN- com intervenção arquitetônica e adequação para as medidas de drenagem- Cenário DREN.	52
Gráfico 4 Vazão de projeto determinada utilizando o método racional.	53
Gráfico 5 Curva IDF para o município de João Pessoa com Tempo de retorno igual a 5 anos.....	54
Gráfico 6 Profundidades das trincheiras comparadas à profundidade ideal e à profundidade máxima	57
Gráfico 7 Custos de implantação e área drenada para as estruturas de infiltração para cada cenário.	68
Gráfico 8 Relação entre o custo e a área drenada pelas estruturas de infiltração	69
Gráfico 9 Custos relativos ao abatimento da vazão comparada ao cenário BASE.....	70
Gráfico 10 Relação custo/benefício	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Ponderações dos benefícios obtidos com serviços ecossistêmicos.....	28
Tabela 2 Coeficientes de escoamento para diversos tipos de superfícies.....	39
Tabela 3 Valor de manutenção das estruturas de acordo com os valores de construção..	48
Tabela 4 Tipologias do uso e ocupação de solo para a área de estudo sem intervenções no layout- Cenário BASE.....	50
Tabela 5 Tipologias do uso e ocupação de solo para a área de estudo com intervenções no layout- Cenário URB.....	51
Tabela 6 Tipologias do uso e ocupação de solo para o cenário DREN- com intervenção arquitetônica e adequação para as medidas de drenagem.....	51
Tabela 7 Coeficientes de escoamento para os cenários em estudo.....	52
Tabela 8 Limites de comprimento para cada trincheira para cada sub-bacia.....	56
Tabela 9 Largura e profundidade necessária para as trincheiras de infiltração.....	56
Tabela 10 Áreas de contribuições para as trincheiras com dimensões pré-fixadas.....	58
Tabela 11 Dimensões das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN.....	59
Tabela 12 Dados hidrológicos das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN.....	60
Tabela 13 Quantitativo de material necessário para a execução das trincheiras de infiltração do cenário TRIN.....	60
Tabela 14 Área drenada pelas trincheiras e área total de drenagem.....	61
Tabela 15 Dimensionamento dos pavimentos permeáveis para o cenário PAV.....	62
Tabela 16 Propriedades dos pavimentos permeáveis para o cenário PAV.....	63
Tabela 17 Quantitativo de materiais necessários para a execução dos pavimentos permeáveis.....	63
Tabela 18 Características dos pavimentos permeáveis para o cenário TRIN+PAV.....	64
Tabela 19 Dimensionamento das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV..	64
Tabela 20 Dados hidrológicos para as trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV.....	65
Tabela 21 Quantitativo de material para as trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV.....	65

Tabela 22 Área de drenagem das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV..	66
Tabela 23 Composição de custos para os cenários TRIN, PAV e TRIN+PAV	68
Tabela 24 Benefícios esperados para o cenário TRIN.....	71
Tabela 25 Benefícios esperados pelo cenário PAV e para o cenário TRIN+PAV	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivos.....	7
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>7</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	<i>7</i>
2	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	Sistema de drenagem urbana sustentável	8
2.2	Planejamento da Drenagem Urbana Sustentável	9
2.3	O desenho urbano e a questão hidrológica.....	9
2.4	A paisagem e a drenagem urbana	11
2.4.1	<i>Conceitos.....</i>	<i>11</i>
2.4.2	<i>Elementos da paisagem.....</i>	<i>12</i>
2.4.3	<i>Paisagem para a drenagem urbana</i>	<i>13</i>
2.5	Técnicas aplicadas ao projeto.....	14
2.5.1	<i>Pavimento permeável</i>	<i>14</i>
2.5.2	<i>Trincheiras de Infiltração.....</i>	<i>20</i>
2.6	Custos e Benefícios	24
2.6.1	<i>Custos</i>	<i>24</i>
2.6.2	<i>Benefícios</i>	<i>27</i>
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Caracterização da área de estudo	33
3.1.2	<i>Aspectos Físicos</i>	<i>35</i>
3.1.3	<i>Aspectos Hidrológicos.....</i>	<i>37</i>
3.2	Caracterização dos Cenários	40
3.2.1	<i>Cenário 1- BASE.....</i>	<i>41</i>
3.2.2	<i>Cenário 2- URB.....</i>	<i>42</i>
3.2.3	<i>Cenário 3- DREN.....</i>	<i>44</i>

3.3	Uso e ocupação do solo	44
3.4	Dimensionamento das Estruturas	44
3.4.1	Cenário 3a- TRIN.....	44
3.4.2	Cenário 3b- PAV.....	46
3.4.3	Cenário 3c – TRIN+PAV	46
3.5	Composição de Custos.....	47
3.5.1	Custos para o cenário DREN.....	47
3.6	Análise dos Benefícios	48
4	RESULTADOS	49
4.1	Ajuste do <i>Layout</i>	49
4.2	Uso e ocupação do solo	50
4.2.1	Cenário Base	50
4.2.2	Cenário URB.....	51
4.2.3	Cenário DREN	51
4.3	Coefficiente de escoamento	52
4.4	Determinação da vazão de pico	52
4.5	Disposição das estruturas.....	54
4.6	Dimensionamento das Estruturas	55
4.6.1	Cenário TRIN.....	55
4.6.2	Cenário PAV.....	61
4.6.3	Cenário TRIN+PAV	63
4.7	Análises.....	67
4.7.1	Área drenada.....	67
4.7.2	Composição de custos	68
4.7.3	Análise dos benefícios	70
5	CONCLUSÕES.....	74
6	REFERÊNCIAS	76
7	APÊNDICES	84
7.1	Apêndice 1: Composição de Custos para o cenário 2a: TRIN	84
7.2	Apêndice 2: Composição de Custos para o cenário 2b: PAV	85
7.3	Apêndice 3: Composição de Custos para o cenário 3: DREN	86

1 Introdução

Muito se tem discutido sobre a inserção de elementos da natureza no desenho urbano. Visto que, historicamente, a urbanização proporcionou a deterioração de componentes indispensáveis a qualidade de vida nas cidades. Dentre eles, a degradação do ciclo hidrológico natural que, com a remoção da vegetação, processos como interceptação e a evapotranspiração são prejudicados. E, com a redução da permeabilidade, observa-se a diminuição da quantidade e da qualidade do abastecimento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além da perda de zonas úmidas, devido às construções mal planejadas. Em paralelo, o crescimento expressivo do escoamento superficial da água, e conseqüente agravamento do risco de inundações, é observado (NILSSON *et al.*, 2012; BALLARD *et al.*, 2015; LOCATELLI *et al.*, 2016).

Em geral, utiliza-se o sistema convencional de drenagem que, por meio do uso de tubulações subterrâneas (microdrenagem), escoam os excedentes, visando reduzir localmente os riscos de alagamentos. Contudo, o direcionamento da água pluvial para áreas a jusante pode ocasionar a saturação do sistema. Atrelados a outros problemas urbanos, os danos podem ser intensificados. Ademais, a concepção da drenagem convencional não considera questões ambientais, como a drenagem natural e, muitas vezes, não há o gerenciamento efetivo do fluxo das águas superficiais, ocasionando prejuízos nas esferas econômicas, sociais e ambientais. Com isto em vista, em países desenvolvidos o uso dos sistemas convencionais tem sido minimizado, dando espaço a novas abordagens, seguindo concepções mais sustentáveis. O uso de tais técnicas tem sido favorecido mediante o engajamento dos profissionais responsáveis pelo planejamento urbano e pelos formuladores de políticas públicas, bem como a sociedade (BACCHIN *et al.*, 2014; KIPPER, 2015; RANKIN, 2015; ARAÚJO, 2016; MOREIRA, 2016).

Os sistemas de drenagem sustentável, objeto deste estudo, prezam pelo gerenciamento dos riscos gerados pelo escoamento urbano e, por consequência, a conservação de questões ambientais, reconhecendo a importância dos processos naturais, aplicando técnicas que promovam o escoamento semelhante ao observado na situação anterior à expansão urbana. O emprego de técnicas de drenagem urbana sustentável é fundamentado na restauração dos fluxos hídricos, com proteção da biodiversidade, utilizando dispositivos de infiltração, retenção ou armazenamento. Tais dispositivos são dispostos próximos à área geradora do escoamento e são integrados ao aspecto urbanístico do local (CLAR *et al.*, 2004; TOMINAGA, 2013; ROMAN, 2015; FERREIRA, 2016).

Desse modo, objetivando avaliar a redução de impactos ambientais associados ao escoamento superficial, partindo da aplicação de medidas compensatórias no projeto de intervenção urbanística para o Centro de Tecnologia (CT) e para o Centro de Energias Alternativas Renováveis (CEAR) da UFPB, duas medidas compensatórias foram testadas, os pavimentos permeáveis e as trincheiras de infiltração. Foram criados dois cenários para a aplicação das medidas de modo isolado e um cenário com a associação de ambas. Para o dimensionamento foi utilizado o Método da Curva Envelope, que fornece informações acerca dos volumes de infiltração, para as trincheiras de infiltração, e informações de altura reservatório de água, para os pavimentos permeáveis. Para a análise econômica utilizou-se o Método Custo Efetivo Total, que contabiliza os custos referentes à vida útil do sistema empregado, para a análise dos benefícios foi feito um levantamento, de modo subjetivo, dos benefícios esperados, observados na literatura.

1.1 Justificativa

O interesse pelas questões relativas ao uso de tecnologias ambientais de drenagem no desenho urbano tem sido cada vez mais frequente. A busca por tal intervenção é baseada em estudos que apontam que as técnicas tradicionais de drenagem têm se mostrado ineficientes intensificando problemas relativos a eventos climáticos extremos. Além do mais, o uso de medidas de drenagem urbana sustentável interligada à intervenção da paisagem pode ter benefícios substanciais de desempenho econômico e ecológico devido à ênfase dada aos serviços ecossistêmicos que podem fornecer uma série de funções de mitigação para os problemas citados. Baseado nisto, esta pesquisa pretende apresentar uma reflexão acerca do desenho da paisagem e de técnicas de drenagem sustentável, aqui denominadas técnicas de drenagem urbana sustentável, a fim de potencializar as funções do ambiente, tornando-o sustentável e resiliente.

Ainda hoje é observada a preferência por técnicas tradicionais na justificativa de não ser possível traduzir os benefícios das técnicas alternativas em termos econômicos. Em sua obra sobre a produção do espaço urbano, CARLOS *et al.* (2011) apontam que o tema “meio ambiente” tem sido abordado de forma contraditória, quando este é responsabilizado pelos problemas decorrentes da destruição das riquezas naturais, onde os verdadeiros responsáveis são ocultados. Em oposição a isto, os autores afirmam que é necessário identificar a real origem dos problemas e de fato inserir a questão ambiental de modo interdisciplinar, para a partir daí compreender as dimensões dos

problemas e propor soluções através do planejamento ambiental, acrescentando-se a isto a educação ambiental.

Na perspectiva de problemas da modernidade, constata-se que, com a evolução das tecnologias, os limites geográficos não são mais tão perceptíveis e, com isto, o conhecimento é difundido de maneira irrestrita, permitindo que soluções para problemas locais sejam estudadas baseadas em casos de sucesso global. Da mesma maneira, os problemas locais podem ter efeitos fora de suas fronteiras. Segundo BERMAN (1986):

Ser moderno é encontrar-se em um ambiente que promete aventura, poder, alegria, crescimento, autotransformação e transformação das coisas em redor — mas ao mesmo tempo ameaça destruir tudo o que temos, tudo o que sabemos, tudo o que somos. (BERMAN, 1986, p.11)

Paradoxalmente, ao mesmo tempo que temos a disponibilidade da enorme quantidade de obras e ideias de alta qualidade, muitas vezes o conhecimento é negligenciado, e os projetos desenvolvidos são apoiados em soluções únicas para todos os casos, baseados em medidas convencionais que, notoriamente, no desencadear de algum evento extremo as consequências não são apenas econômicas, mas sociais e ambientais (BERMAN, 1986). Desse modo, evidencia-se a necessidade de buscar entender a área de estudo, elencar as prioridades e aplicar soluções adequadas ao local.

A porção urbana se desenvolve de modo rápido e, apesar de alguns autores proporem projetos urbanos que buscam equilibrar as diferenças sociais, com preocupação com a escassez dos recursos e o equilíbrio da cidade (VESCINA, 2010), observa-se que na grande parte dos projetos urbanos, as premissas do local são colocadas em segundo plano, e os princípios históricos, culturais, ambientais e tecnológicos são desconsiderados (ROMERO, 2015). Somado a isto, observa-se que a expansão territorial sem planejamento provoca a degradação de ecossistemas e o bem-estar social pode ser perturbado. Além disso, é possível que os eventos climáticos sejam intensificados devido à modificação da morfologia urbana associada à fatores naturais. (GEHRELS *et al.*, 2016).

Desta forma, observa-se que a modificação urbana tem grande influência sobre os problemas ambientais e sobre a qualidade de vida. E, considerando que a qualidade de vida e qualidade ambiental estão intimamente ligadas, essa modificação deve ser conduzida de forma a conciliar a inter-relação homem natureza “por meio da conservação do potencial produtivo dos ecossistemas, da valorização e preservação dos recursos naturais e da sustentabilidade ecológica do habitat” (LEFF, 2000 apud PINA *et al.*, 2010, p.6).

Ainda é possível acrescentar que o planejamento urbano adequado pode agir de forma a reduzir os problemas já existentes e evitar os novos, tal premissa é confirmada quando ROMERO (2015) assegura que “O impacto negativo ao qual a população é submetida quando o construído se transforma em indutor de alterações climáticas pode ser evitado com um desenho adequado.” (ROMERO, 2015, p.28).

Quando a abordagem ambiental nos projetos é utilizada para otimizar as relações energéticas e as relações do desenho arquitetônico com o entorno e o meio ambiente (ROMERO, 2015), há uma contribuição para o fortalecimento do clima socioeconômico nas cidades (GEHRELS *et al.*, 2016). Aliado a isto, o projeto urbano é capaz de promover mudanças concretas na paisagem urbana. Informações acerca dos benefícios e custos gerados na inserção de medidas verdes-azuis têm sido compiladas em diversas pesquisas, e podem auxiliar na qualificação do ambiente em estudo.

Portanto, enfatiza-se a necessidade de que a abordagem ambiental ultrapasse o plano teórico e metodológico, no intuito de definir as prioridades do uso da terra, de forma integrada, visando além de minimizar os danos bem como produzir ambientes saudáveis representado, segundo GEHRELS *et al.* (2016) por “um ambiente limpo e seguro; espaço verde suficiente, natureza e água; lares saudáveis e sustentáveis; espaços públicos atrativos e variados; ampla gama de serviços públicos (moradia, escolas, compras, cultura, negócios, esportes, saúde)” (GEHRELS, 2016, p. 11).

Um grande problema decorrente do crescimento urbano, apresentado em diversas pesquisas, está relacionado ao uso e a ocupação dos solos, que com a impermeabilização e a supressão da vegetação podem contribuir para redução da capacidade de infiltração, a redução da capacidade de evapotranspiração e conseqüente aumento do escoamento superficial e, com este o aumento das vazões de cheias e os prejuízos decorrentes de inundações (VESCINA, 2010; SANTOS, 2016; ARAÚJO, 2016).

Uma estratégia utilizada no intuito de resolver os desafios urbanos e climáticos seria a implementação de ferramentas da drenagem urbana sustentável que por meio da prestação de serviços ecossistêmicos pudesse “melhorar a sustentabilidade e resiliência das cidades” (LENNON *et al.*, 2014 apud MEEROW *et al.*, 2016). Tais ferramentas podem ser definidas como sendo “recursos multifuncionais capazes de fornecer serviços ecológicos e benefícios de qualidade de vida” (SYMONS *et al.*, 2015).

Somado a isso “é possível projetar espaços com objetivos econômicos, sociais e ambientais, partindo de um planejamento adequado, escolhendo estratégias adequadas” (BUGLER, 2017, p.63). O estudo acerca de ferramentas que auxiliam no desenvolvimento urbano de forma interdisciplinar tem sido alvo de pesquisas, como os trabalhos de BAPTISTA (2013), GEHRELS *et al.* (2016), CHINI *et al.* (2016) e BUGLER, (2017). Muitos desses estudos apresentam os benefícios da drenagem urbana sustentável, associados às mudanças climáticas, compensações ecossistêmicas e saúde do ambiente urbano.

GEHRELS *et al.*, (2016) interpretam a cidade como sendo uma rede hídrica interligada, composta por águas superficiais e subterrâneas, ao ponto que ARGOLLO *et al.* (2015) afirmam que “a água certamente constitui-se em fator determinante em todo e qualquer processo de conformação territorial e da paisagem correspondente, como um conjunto de espaços onde são desenvolvidas práticas produtivas, rituais, celebrações e mobilizações sociais”.

Neste caso, a drenagem urbana sustentável pode ser utilizada no intuito de reduzir a capacidade de armazenamento e perda de água evapotranspiração da infraestrutura verde, por meio de técnicas que retenham as precipitações extremas e atraso do escoamento das chuvas. Tal retenção e o atraso reduzem os danos e incômodo do escoamento a jusante.

Integrar as representações encontradas no domínio da paisagem com funções múltiplas, com as técnicas de drenagem sustentável e analisá-las é o desafio que se propõe a este estudo. Tratando dessas questões, percebe-se que, a medida em que possibilita uma maior discussão sobre o estudo da paisagem multifuncional, permite a abordagem de tais questões sob ótica da drenagem urbana sustentável. Além disso, ainda que estes assuntos sejam discutidos há muito tempo, são pouco inseridos no planejamento urbano, demonstrando a relevância da pesquisa no trato com as questões ambientais a partir da paisagem e da drenagem urbana sustentável.

Para o estudo, a área que corresponde a uma porção do centro De Tecnologia E Do Centro De Energias Renováveis da UFPB, foi escolhida devido a modificação intensa da paisagem, onde são encontradas grande área impermeabilizada (vias de acesso, prédios, calçadas), escassa vegetação pioneira e grande porcentagem de solo exposto, fatores que afetam a qualidade ambiental, no que se refere a paisagem urbana e a problemas hidrológicos. Também deve-se levar em consideração o fato de que uma considerável porção da área de estudos ser destinada a estacionamentos, que são áreas preferencialmente escolhidas para inserção de dispositivos de controle de drenagem na fonte.

Os fatores expostos são relevantes no estudo de comportamento hidrológico, sendo amplamente apontados na comunidade científica como precursores de problemas relacionados às interferências do ciclo hidrológico causados pela geração de escoamento superficial, promovendo o aumento das vazões de pico, tendo como consequências inundações e seus prejuízos sociais, econômicos e ambientais (BUENO, 2014; KIPPER, 2015; POÇO, 2016).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Avaliar quantitativamente e qualitativamente a inserção de medidas de drenagem urbana sustentável a uma proposta de intervenção urbana utilizando técnicas compensatórias.

1.2.2 Objetivos específicos

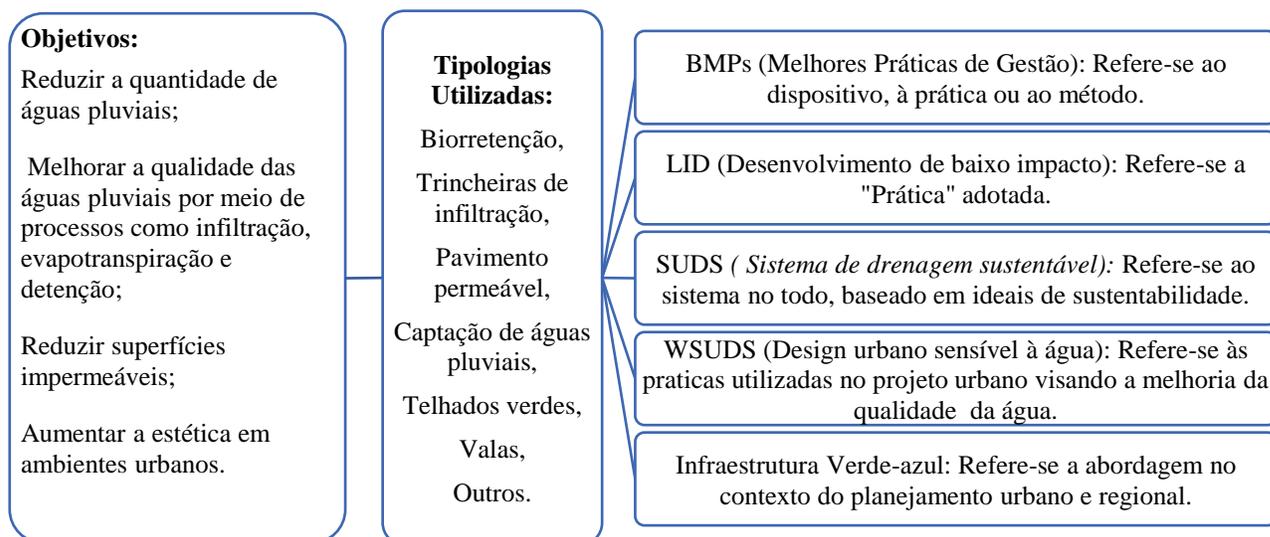
- Identificar aspectos urbanísticos e de infraestrutura para verificar a possibilidade de inserção de medidas compensatórias;
- Adequar o *layout* da área de estudo para maximizar a eficiência do sistema de drenagem urbana sustentável;
- Testar a viabilidade de medidas compensatórias de forma isolada e em associação;
- Analisar quantitativamente a inserção das medidas sugeridas;
- Avaliar qualitativamente a adoção das medidas propostas.

2 Referencial Teórico

2.1 Sistema de drenagem urbana sustentável

O sistema de drenagem urbana sustentável é utilizado objetivando restabelecer as condições naturais do ciclo hidrológico antes da urbanização, sendo concebido a partir dos conceitos de diversas disciplinas, a saber, arquitetura, ciências sociais, ecologia, economia, engenharia, hidráulica, legislação, urbanismo, entre outras. Em vista disso, diversas são as teorias que debatem a sustentabilidade da drenagem urbana, dentre elas, podemos citar as BMPs (*Best Management Practices*); o LID (*Low Impact Development*); o SUDS (*Sustainable Drainage Systems*); o WUSD (*Water Sensitive Urban Design*) e infraestruturas verde-azuis que, mesmo como abordagens distintas, todas elas sejam alternativas às limitações da drenagem clássica, com propostas de manejo sustentável da águas pluviais, biomimetizando¹ os processos hidrológicos (BAHIENSE, 2013; TOMINAGA, 2013; ZHANG, 2017). Em resumo, o Quadro 1 apresenta os objetivos pertinentes a cada designação, as tipologias utilizadas para o alcance dos objetivos, e uma breve descrição de cada abordagem.

Quadro 1 Objetivos, tipologias adotadas e designações para o projeto de Drenagem Urbana Sustentável.



Fonte: baseado nos trabalhos de UDFCD (2010); JONES (2012); MONTENEGRO (2012); NILSSON et al. (2012); BAHIANSE (2013); TOMINAGA (2013); IMADA (2014); KEATING et al. (2015); LOCATELLI et al. (2016); OLIVEIRA (2016); KOKAS (2017).

¹ Biomimética é a ciência focada nos princípios da natureza aplicados à tecnologia (CAMARGO et al. 2014)

2.2 Planejamento da Drenagem Urbana Sustentável

Como todas as abordagens convergem para os mesmos objetivos utilizando as mesmas tipologias, nesta pesquisa, por simplificação, utilizou-se a designação “técnicas compensatórias”, assim como BAPTISTA *et al.* (2005). Conforme observado no Quadro 1 as abordagens citadas, buscam restabelecer os padrões hidrológicos por meio de processos naturais, respeitando os limites do meio de modo integrado ao planejamento urbano. Com isto posto, faz-se necessário entender de que modo o planejamento urbano pode interferir nas questões hidrológicas de uma bacia hidrográfica.

2.3 O desenho urbano e a questão hidrológica

Em termos de planejamento, no contexto urbano, planejar é buscar entender o espaço, reconhecendo o dinamismo e a complexidade do mesmo, possibilitando o traçado de estratégias de modo sistêmico, legitimando as ações sobre o lugar, com referências técnicas, pautado no saber disciplinar, e referências políticas, reduzindo danos causados por desastres naturais intensificados por ações antrópicas (ACCIOLY, 2008; SANTOS, 2017). Para ACCIOLY (2008), o planejamento é uma atividade fundamentada na tentativa de enxergar o comportamento de certo fenômeno e, a partir da simulação dos processos envolvidos, agir precavendo-se contra os danos prováveis.

BICHUETI *et al.* (2017) e BRITO (2017) afirmam que a sustentabilidade de uma cidade surge em resposta ao planejamento urbano e é representada pela disponibilidade de infraestrutura, mobilidade, moradia, saneamento, entre outros, resultando em qualidade de vida e redução de impactos ambientais.

Entretanto, a intensa transformação da cidade, com exploração do solo e modificação da paisagem, em muitos casos não tem sido acompanhada pelo planejamento urbano, desencadeando uma série de impactos sejam econômicos, sociais, ambientais e/ou culturais (IMADA, 2014; GEHRELS *et al.*, 2016). O desenvolvimento da área urbana e consequente ocupação do solo e a redução da cobertura vegetal culminam em alterações na paisagem afetando, além de outros elementos, a biota, o clima, o solo, com efeitos sobre o ciclo hidrológico da região. Em termos hidrológicos, com o aumento da impermeabilização, ocorre a redução da infiltração e da rugosidade de superfícies, aumentando o escoamento superficial, que podem sobrecarregar o sistema hídrico e o sistema de esgoto e drenagem ocasionando impactos referentes, por exemplo, a alagamentos e a inundações (GALVÃO *et al.*, 2008; CAVALCANTE *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2017).

Em vista disso, surge a necessidade de buscar métodos que por meio de alternativas com menor impacto ambiental seja alcançado um desenho urbano eficiente, maximizando a eficiência da cidade (BICHUETI *et al.*, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2017). Para isto, JALUZOT (2014) e GEHRELS *et al.* (2016) reiteram que é possível planejar a cidade por meio de uma abordagem integrada, utilizando ferramentas que contribuam para a saúde e habitabilidade do ambiente. Tais ferramentas dizem respeito às ações aplicadas ao sistema físico da cidade, observando as relações existentes entre os diversos setores, por exemplo, planejar a paisagem observando como o projeto pode afetar o sistema de drenagem urbana e vice-versa, antecipando as necessidades mútuas.

Todavia, a concepção de sistemas de drenagem não ocorre em paralelo ao projeto da paisagem, e, aliado à expansão territorial mal planejada, tem atenuado a qualidade local, não promovendo benefícios além do gerenciamento da água escoada. Considerando que um dos objetivos do sistema de drenagem é a tentativa de evitar danos em períodos de picos de chuva, observa-se que muitas vezes o sistema não suporta as demandas das vazões. Além disso, a supressão vegetal, a impermeabilização do solo e canalização de rios e córregos, têm sido apontados como motivadores da ocorrência de eventos extremos, como inundações, modificação de microclima, redução da qualidade e quantidade de águas superficiais, redução da recarga dos aquíferos subterrâneos, entre outros (TOMINAGA, 2013; JALUZOT, 2014; MARTINS, 2015; ZHANG, 2017).

Visando alcançar uma cidade sustentável faz-se necessário observar a dinâmica natural do local e a partir disso utilizar informações relevantes, referentes aos serviços ecossistêmicos, ecologia urbana, fluxo natural da água, entre outros. Dessa forma, obter-se ambientes multifuncionais, onde percebe-se o equilíbrio entre o natural e o construído (LUC, 2017).

Em termos de drenagem urbana sustentável, é imprescindível que os elementos que compõem a paisagem, relacionados ao solo, à cobertura vegetal e ao ciclo hidrológico, sejam avaliados, verificando em que medida ou de que forma estes afetam o projeto, seja impondo limites ou fornecendo serviços que maximizem a eficiência.

2.4 A paisagem e a drenagem urbana

2.4.1 Conceitos

Afinal, o que é paisagem? Para FRANCO (2008), o termo carrega em si diversos significados. De fato, ao buscar definições para a palavra, diversas acepções são apresentadas. Para VESCINA (2010) “a paisagem abrange, com toda a sua polissemia, dimensões ecológicas, socioeconômicas, histórico-culturais e estéticas do território que habitamos.”

Assim, a paisagem seria como um ecossistema, que mescla os elementos naturais e antrópicos, no tempo, espaço e contexto social de forma intrínseca, despertando sensações estéticas, podendo ou não, estar em equilíbrio (HARDT, 2000 apud BONAMETTI, 2010).

CORTEZ (2012) reitera que a paisagem é dinâmica, sendo resultado do arranjo entre componentes físicos, biológicos e humanos e, que deve ser vista, indo além de suas formas, atentando para os seus significados, sendo estes reflexos das relações entre a sociedade e a natureza. Enfatizando que os processos sociais moldam diversas paisagens.

Neste contexto, FRANCO (2008) afirma que é possível observar dentro da cidade três tipos de paisagens, sendo a primeira criada pelo homem, onde é necessário o suprimento de energia e de serviços, exemplificando com os gramados, os canteiros e as árvores. A segunda paisagem seria a natural, que emerge em áreas não planejadas, crescendo sem nenhum custo. Por fim, a terceira paisagem, denominada “paisagem humanizada dos espaços privados” que representa os valores culturais da sociedade, revelando, ou não, a sua preocupação com a natureza.

Todavia, VESCINA (2010) considera que, na contemporaneidade, não há uma separação entre o entendimento da cidade e da natureza, sendo estes conceitos inseparáveis. Logo, ao estudar a paisagem, é possível constatar os processos naturais, as questões sociais, econômicas e políticas predominantes do local (CORTEZ, 2012). Dessa forma,

É compreensível que na sua construção (da paisagem) ocorram a renovação das morfologias antigas e a criação de novas que venham a atender aos novos estilos de vida que lhes são atribuídos em cada momento histórico como consequência da manifestação do poder. (BONAMETTI, 2010, p.5)

Porém, historicamente, nem sempre a paisagem desempenhou o papel de refletir a identidade do local, sendo este analisado por meio dos conceitos de região, espaço, território e lugar (ALMEIDA, 2008). Essa ficando em segundo plano, confirmando a ressalva de FRANCO (2008) quando afirma que “a paisagem carrega, quase invariavelmente, uma conotação cosmética em relação ao projeto arquitetônico” (FRANCO, 2008, p.28).

É a partir da ecologia da paisagem que os processos sociais, econômicos e políticos são incorporados à ecologia na tentativa de entender a influência do homem sobre a paisagem (PASSOLD *et al.*, 2014). A ecologia da paisagem pode ser definida “Como o estudo sistêmico dos atributos de uma superfície geográfica como produtos de ecossistemas e dos processos envolvidos na determinação destes atributos.” (VINK, 1975 apud ROCHA, 1995).

Os conceitos da ecologia da Paisagem surgem na década de 30, onde a paisagem era observada de forma sistêmica a partir da utilização de fotografias aéreas, interligando conceitos de diversas áreas, tais como “geografia, ecologia, teorias de urbanização e de transportes, planejamento regional, planejamento da paisagem, avaliação das terras, além de trabalhos em biologia da vida silvestre, florestas e manejo de pragas” (FORMAN *et al.*, 1986 apud ROCHA, 1995). No entanto, a aplicação destes conceitos passa a ser difundidos por volta da década de cinquenta e sessenta, quando se percebe que os recursos do planeta são limitados e quando a crise ambiental é percebida (FRANCO, 2008).

Diante de tantas atribuições, percebe-se que a possibilidade de uma abordagem, acerca da paisagem, de forma interdisciplinar, onde os conceitos dos diversos profissionais interligam-se no intuito de representar as heterogeneidades do espaço urbanizado (BALLARD *et al.*, 2015).

2.4.2 Elementos da paisagem

Para JALUZOT (2014) os parâmetros que são considerados no projeto da drenagem urbana sustentável, relativos a paisagem, referem-se a:

- As características do solo.
- A disponibilidade de superfície para a disposição das medidas adotadas.
- O espaço disponível abaixo do solo.
- Os objetivos do projeto de drenagem, ou seja, quanto deseja-se atenuar as vazões de pico, se haverá infiltração e/ou retenção, e se é necessária a remoção de poluentes.

A autora ainda reitera que a manutenção e/ou inserção de cobertura vegetal contribui significativamente para o gerenciamento do escoamento superficial.

Em concordância com JALUZOT (2014), GEHRELS *et al.* (2016) ratificam tal papel da vegetação, das condições de chuvas e das características do solo, citando os processos envolvidos, como sendo:

- A interceptação e evaporação do dossel;
- A infiltração de precipitação e escoamento;
- A absorção de água radicular e transpiração.

Diversos são as estruturas que promovem os processos citados, dentre eles os pavimentos permeáveis, os jardins de chuva, as valas e trincheiras de infiltração (JALUZOT, 2014).

BALLARD *et al.* (2015) consideram que a integração do projeto de drenagem com os elementos da paisagem propicia o fornecimento de funções necessárias para a finalidade do sistema e, com isto o planejamento urbano pode ser efetivado respeitando os limites do meio ambiente sem negligenciar as necessidades requeridas para a manutenção das funções da cidade e o bem-estar da população (MAGALHÃES, 2013).

2.4.3 Paisagem para a drenagem urbana

No planejamento urbano atual, a natureza tem exercido papel relevante, os processos ecológicos e os benefícios oferecidos pelos serviços ecossistêmicos estão sendo analisados nos estudos urbanos para a definição e realização de um sistema versátil (CLAR *et al.*, 2004).

O resgate de elementos verdes e a consideração do fluxo natural da água no desenho urbano podem ser aliados na regulação da temperatura, qualidade do ar, armazenamento de água e drenagem e redução de ruído. Tais medidas podem ser otimizadas. A seguir são apresentadas medidas que podem ser adotadas, seguido do processo envolvido (GEHRELS *et al.*, 2016)

- Aumentar a área de superfície e a densidade da vegetação, bem como selecionar espécies com maior capacidade de interceptação (interceptação e evaporação do dossel)
- Selecionar espécies para maximizar a transpiração (captação e transpiração da água da raiz)
- Criar áreas permeáveis; melhorar a estrutura do solo existente por meio de materiais granulares, criação de depressões (infiltração)

2.5 Técnicas aplicadas ao projeto

2.5.1 Pavimento permeável

2.5.1.1 Definição

Usualmente, a associação dos termos “pavimento” e “permeável” refere-se a um arranjo composto por uma superfície porosa e uma base estruturada que, além da finalidade urbanística convencional, é capaz de armazenar, temporariamente, a água infiltrada pela superfície. Recomenda-se que a água infiltrada no dispositivo permaneça armazenada por um período de tempo, possibilitando a diminuição de nutrientes via desnitrificação (WEISS *et al.*, 2015). Esta água pode infiltrar diretamente no solo, pode ser reaproveitada ou pode ser destinada ao sistema de drenagem convencional (DIAS *et al.* 2010; CALTRANS, 2014; WEISS *et al.*, 2015; SANTOS, 2016; FERREIRA, 2017).

Esse tipo de dispositivo deve ter porosidade e permeabilidade suficientemente grandes, sendo capaz de interferir positivamente no regime hidrológico do local, absorvendo os excedentes de água, provenientes de eventos chuvosos intensos (MOREIRA, 2016). O pavimento poroso vem contrapor ao sistema convencional de pavimentação, onde a impermeabilidade é um fator preponderante, justificada na tentativa de evitar problemas típicos da infiltração da água nos revestimentos adotados (ACIOLI, 2005; VIRGILIIS, 2009; TOMINAGA, 2013; IMADA, 2014). Assim, o pavimento permeável destina-se a reduzir ou retardar as vazões de pico, ao mesmo tempo que o armazenamento temporário, pode atuar na recuperação da qualidade da água infiltrada, promovendo posteriormente a recarga subterrânea (BAHIENSE, 2013; TOMINAGA, 2013; POÇO, 2016). Além disso, a estrutura deve suprir as solicitações de esforços mecânicos proveniente dos fluxos de veículos (MALLMANN, 2017).

BALLARD *et al.* (2015) acrescentam que além das funções citadas, o pavimento permeável estabelece um meio de tratamento, desempenhando processos de filtração, de adsorção, de biodegradação e de sedimentação.

KIPPER (2015) e MOREIRA (2016) ressaltam que o uso do pavimento permeável tem a vantagem de permitir o tráfego de carros e pedestres ao mesmo tempo que fornece os benefícios da drenagem de águas pluviais. Contudo, diversos autores, como IMADA (2014), ARAÚJO (2016), MOREIRA (2016) e outros, asseguram que o pavimento permeável não deve ser instalado em áreas de alto fluxo, sendo indicado em áreas de estacionamentos, praças, playgrounds, quadras

de esportes. Entretanto, estudos indicam respostas satisfatórias dos pavimentos permeáveis à instalação também em locais de alto tráfego (VIRGILIIS, 2009).

CALTRANS (2014) afirma que uma grande preocupação da adoção desta medida é a questão da manutenção. Tal preocupação é fundamentada em problemas referentes a rompimento da superfície, a colmatção, a diminuição da eficiência, relatados no início da sua utilização nos Estados Unidos e Japão. Porém, com o desenvolvimento de novos materiais e novas tecnologias, o pavimento permeável tem apresentado melhor desempenho, sendo utilizado no intuito de reduzir impactos ambientais (VIRGILIIS, 2009). Além disso, diversas pesquisas estão sendo realizadas para entender melhor a interação de propriedades hidráulicas, remoção de poluentes, projeto e manutenção do sistema e, em sua maioria, reduções significativas no escoamento superficial gerado (MOORE *et al.*, 2017).

Como benefícios adicionais, DIAS *et al.* (2010) e POÇO (2016) asseguram que mesmo que a instalação do pavimento permeável seja mais onerosa que a pavimentação convencional, devido à redução da vazão máxima e à consequente redução do sistema de drenagem convencional, a redução do custo global é observada. Além disso, CALTRANS (2014), IMADA (2014) e HARVEY *et al.* (2017) ressaltam a redução térmica das ilhas de calor nas proximidades do pavimento, devido a menor capacidade e condutibilidade térmica, além da remoção de poluentes citada por UDFCD (2010) e MOREIRA (2016).

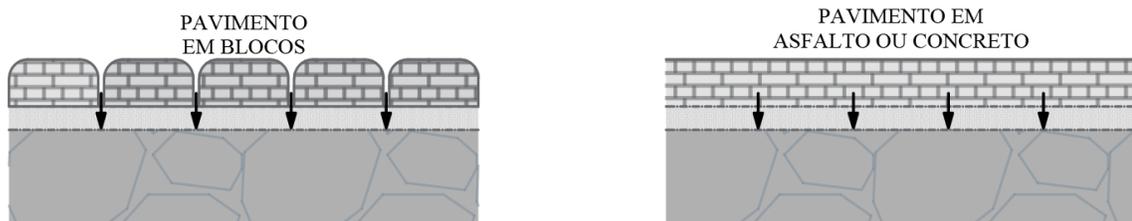
Apesar de diversos benefícios já relatados, o pavimento permeável também conta com algumas limitações, por exemplo, é necessário estudo mais detalhado caso a instalação do pavimento se dê próximo a fundações, já que a inserção em áreas com altas cargas de sedimentos pode limitar as funções dos pavimentos (UDFCD, 2010; CALTRANS, 2014; MOREIRA, 2016). O uso em solos de baixa permeabilidade favorece a saturação do reservatório, reduzindo a infiltração (DIAS *et al.*, 2010).

2.5.1.2 Estrutura do Pavimento permeável

Basicamente, a estrutura do pavimento permeável conta com uma superfície constituída de um revestimento permeável ou poroso, logo após tem-se uma camada filtrante, que pode ser utilizado um filtro geotêxtil. Abaixo do filtro encontra-se o reservatório ou sub-base composto por material com elevado índice de vazios, por exemplo brita. Toda essa estrutura fica acima do subleito, e o tipo de solo que compõe o subleito é determinante no dimensionamento hidráulico da estrutura do pavimento permeável (IMADA, 2014; WEISS *et al.*, 2015; POÇO, 2016).

Em relação aos materiais que compõem a superfície, os pavimentos podem ser subdivididos em dois tipos sendo eles os revestimentos permeáveis, quando utiliza-se blocos modulares, e os revestimentos porosos, quando utiliza-se e os pavimentos em asfalto poroso ou em concreto poroso, superfícies de grama ou cascalho reforçadas, cascalho de resina (DIAS *et al.*, 2010; CALTRANS, 2014; JALUZOT, 2014; BALLARD *et al.*, 2015). No caso de revestimentos permeáveis, a infiltração se dá entre os espaços dos blocos. No caso dos revestimentos porosos, em asfalto ou concreto, a infiltração ocorre devido aos espaços promovidos pela remoção dos grãos finos na concepção desses materiais (TOMINAGA, 2013). A Figura 1 demonstra como ocorre a infiltração da água, nos diferentes tipos de revestimentos.

Figura 1 Tipos de pavimentos permeáveis quanto ao tipo de revestimentos.



Fonte: Adaptada de TOMINAGA (2013)

O Quadro 2 apresenta os principais tipos de pavimentos permeáveis e o correspondente uso indicado dependendo da área a ser inserido.

Quadro 2 Tipo de pavimento indicado para determinadas áreas de inserção.

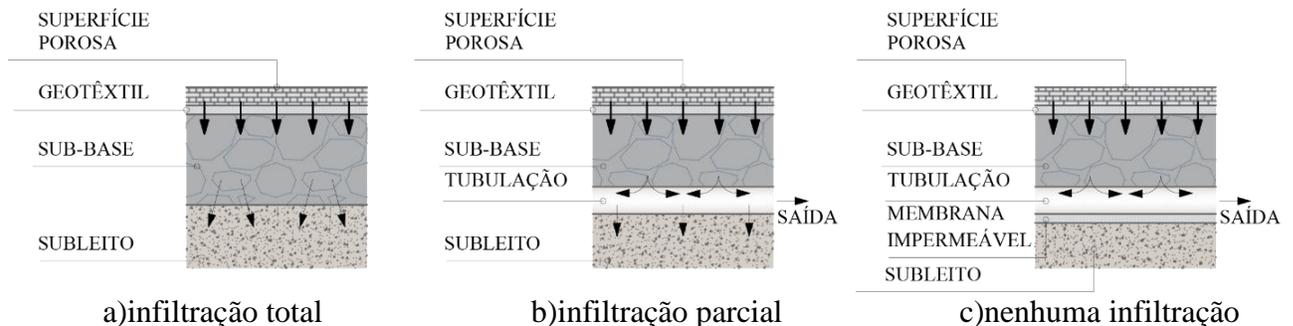
	Pavimento Modular	Asfalto Poroso	Reforço de grama	Cascalho de resina	Betão poroso
Áreas para pedestres	*			*	
Calçadas privadas	*	*	*	*	
Estacionamentos	*	*	*		*
Estradas com tráfego intenso	*				
Portos	*				
Estradas com tráfego leve		*			*
Playgrounds		*			
Escolas		*	*	*	
Onde, *-Escolha Adequada					

Fonte: Adaptado de BALLARD *et al.*, 2015

Em termos de drenagem, os pavimentos podem ser classificados quanto ao fluxo hidráulico. BALLARD *et al.* (2015) definem três tipos possíveis de pavimento permeável. No primeiro, toda a água da chuva é infiltrada no solo. O segundo tipo conta com uma tubulação perfurada que encaminha parte da água para o sistema de drenagem, neste caso a água não fica acumulada. No

último caso, a água é recebida por drenos, não infiltrando, sendo transportada para um emissário. Os autores afirmam que cada tipo de pavimento deverá ser escolhido de acordo com a finalidade que se pretende alcançar (infiltração ou armazenamento) e de acordo com a necessidade de proteger os lençóis freáticos. A Figura 2, de modo esquemático, apresenta a estrutura e o funcionamento dos três tipos de pavimentos permeáveis citados.

Figura 2 Tipos de pavimentos permeáveis, quanto ao armazenamento e infiltração.



Fonte: Adaptado de BALLARD *et al.*, 2015.

2.5.1.3 Critérios de dimensionamento

Em regra, para a concepção do pavimento permeável deve-se estudar tanto o desempenho estrutural, no intuito de identificar o suporte às cargas do tráfego, quanto o desempenho hidrológico, onde a espessura suficiente para armazenar temporariamente o volume do escoamento é determinada. Deve-se escolher o projeto que represente a situação mais crítica (WEISS *et al.*, 2015).

Antes do dimensionamento hidráulico é necessário realizar alguns procedimentos. A princípio, deve-se escolher a localização do dispositivo. CALTRANS (2014) reitera que geralmente o pavimento permeável é projetado para receber a água de sua superfície, contudo é possível capturar a água de áreas adjacentes. Entretanto a área a ser drenada não deve exceder em 1,2 vezes a área do pavimento propriamente dita (IMADA, 2014). Em seguida deve-se escolher o revestimento a ser utilizado, que dependerá da resistência mecânica necessária. Ademais, MOORE *et al.* (2017) asseguram que mesmo que o subleito dite o comportamento da estrutura durante o primeiro ano, é o tipo que revestimento que será determinante na eficiência do dispositivo nos anos seguintes, devido a características de infiltração na superfície. Outro procedimento a ser seguido é o estudo da capacidade de infiltração do solo, o que ditará o tipo de estrutura a ser utilizada. A partir disto, é possível iniciar o procedimento hidráulico.

Para o dimensionamento dos parâmetros hidráulicos dos pavimentos permeáveis ACIOLI (2005); VIRGILIIS (2009); KIPPER (2015) e FERREIRA (2017) utilizam o método da curva-envelope, semelhante ao descrito no dimensionamento da trincheira de infiltração. Entretanto, os cálculos são feitos em função da altura da lâmina de água no reservatório. Tal procedimento é apresentado a seguir.

Partindo de dados de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), fatores de escoamento, relações de área e tempo define-se a lâmina d'água de entrada acumulada (H_e), expressa na Equação 1.

$$H_e = \beta \frac{a.T_r^b}{(t+c)} \cdot \frac{t}{60} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: H_e - lâmina d'água de entrada acumulada medida sobre a área em planta do dispositivo (m); β = produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo; a,b,c=parâmetros da equação (m); T_r = Tempo de retorno (anos) e t=duração da chuva de projeto (min)

A lâmina d'água de saída acumulada H_s é definida a partir de dados de vazão de saída, área de percolação e do dispositivo, profundidade média do volume e da duração da chuva (Equação 2).

$$H_s = \gamma H q_s \cdot \frac{t}{60} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: q_s = vazão de saída constante do dispositivo (m/h); γ = razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta; H = profundidade média do volume de acumulação do dispositivo (m); t = duração (minutos).

A vazão de saída é equivalente a taxa de infiltração do solo saturado, considerando que o pavimento permeável com infiltração total. Para incluir a redução desta capacidade deve-se corrigir por meio da introdução de um coeficiente de segurança.

A partir das determinações anteriores é possível identificar o volume máximo do reservatório, procedendo a maximização da diferença entre H_e e H_s , no tempo, a partir da resolução da Equação 3.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial (H_e - H_s)}{\partial t} = 0 \quad \text{Equação 3}$$

Onde: $\frac{\partial V}{\partial t}$ é a maximização do volume no tempo; H_e é lâmina d'água de entrada acumulada medida sobre a área em planta do dispositivo (m); H_s é A lâmina d'água de saída acumulada (m).

A partir de substituições e manipulação algébrica das equações anteriores é possível verificar a duração crítica da chuva de projeto, que é o tempo da máxima diferença entre H_e e H_s , e pode ser expressa pela Equação 4.

$$t_c = \sqrt{\beta \frac{ca.T_r^b}{\gamma H q_s}} - c \quad \text{Equação 4}$$

Onde: t_c =duração da chuva crítica (minutos); β = produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo; a,b,c=parâmetros da equação (m); T_r =Tempo de retorno (anos); γ = razão entre a área de percolação e a área do dispositivo em planta; H =profundidade média do volume de acumulação do dispositivo (m) e q_s = vazão de saída constante do dispositivo (m/h).

Além disso, é possível determinar o volume máximo do dispositivo referente à duração crítica determinada. O volume máximo é demonstrado na Equação 5.

$$V_{m\acute{a}x} = \left(\frac{a}{60} \sqrt{\beta} \cdot T_r^{b/2} - \frac{c}{60} \sqrt{q_s} \right)^2 \quad \text{Equação 5}$$

Onde: V_{max} = Volume máximo do dispositivo de infiltração (m^3); β = produto do coeficiente de escoamento pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo; a,b,c=parâmetros da equação (m); T_r = Tempo de retorno (anos) e q_s = vazão de saída constante do dispositivo (m/h).

Com a determinação do volume máximo, encontra-se a altura do reservatório, expressa pela Equação 6.

$$H = \frac{V_{max}}{\phi} \quad \text{Equação 6}$$

Onde: H = altura do reservatório(m); V_{max} = Volume máximo do dispositivo de infiltração (m^3) e ϕ = porosidade do material de preenchimento.

O tempo de esvaziamento corresponde a relação entre a altura do reservatório e a vazão da saída, representado pela Equação 7.

$$t_{esv} = \frac{H}{q_s} \quad \text{Equação 7}$$

Onde: H = altura do reservatório(m); q_s = vazão de saída constante do dispositivo (m/h) e H = altura do reservatório(m).

O tempo de esvaziamento adequado permite que a estrutura seja capaz de absorver eventos chuvosos subsequentes. BALLARD *et al.* (2015) aconselham que a metade do reservatório seja esvaziado no período de 24 horas, para um tempo de retorno de 10 anos ou 30 anos. Para TOMAZ

(2009) o tempo ideal deve ser igual a 24h. O tempo de esvaziamento adequado permite que as condições ideais do solo sejam estabelecidas, bem como permite que o dispositivo suporte novo evento chuvoso (VIRGILIIS, 2009; BALLARD *et al.*, 2015).

De modo geral, para que o pavimento permeável mantenha sua eficiência, é necessário que sejam verificadas as premissas impostas para a sua instalação e que a inspeção e a manutenção sejam realizadas periodicamente (AL-RUBAEI, 2016).

2.5.2 Trincheiras de Infiltração

2.5.2.1 Definição

Uma trincheira de infiltração pode ser definida como sendo uma cavidade feita no solo, revestida no fundo e nas laterais por uma manta geotêxtil e preenchida por um material granular, que pode ser pedras, escombros, ou outro material que proporcione a formação de vazios. Este conjunto permite que a água proveniente do escoamento superficial, de uma área adjacente, que pode ser uma casa, um ambiente comercial, um estacionamento etc., seja recolhida e armazenada temporariamente, nos vazios existentes na camada de armazenamento (CAPUTO, 2012; PUZZI, 2015, KORTKAMP *et al.*, 2016). Entretanto, BUENO (2014), caracteriza a trincheira de infiltração como uma estrutura que pode ter diferentes revestimentos, demonstrando a possibilidade de conferir uma camada sobreposta ao reservatório de material granular.

A água captada pode ser reutilizada, infiltrar no solo, ou ser destinada ao sistema de drenagem convencional. De toda forma, o volume de água escoado e as vazões máximas são reduzidos e, com o escoamento por infiltração através do solo, ocorre a redução dos volumes. Com isto é possível restabelecer o equilíbrio natural da água, visando alcançar as condições hidrológicas antes da urbanização (CAPUTO, 2012; BALLARD *et al.*, 2015).

As trincheiras podem ser empregadas em diversos locais, de uso residencial ou não, em áreas industriais, em jardins, em calçadas, ao longo do sistema viário e outras localidades, desde que sejam respeitados os critérios para a sua implantação (TOMINAGA, 2013; GONÇALVES, 2016). Geralmente é usada lateralmente a uma superfície impermeável, drenando a água excedente (BALLARD *et al.*, 2015).

As dimensões das trincheiras são lineares, com o comprimento sobressaindo-se sobre a largura, e sua profundidade não deve ultrapassar 2,00 metros. Além disso, a base da trincheira deve

se encontrar a, no mínimo, 1,20 metros de distância do lençol freático, precavendo-se contra a contaminação do mesmo (PUZZI, 2015).

Diversos autores, TRINDADE (2009); PUZZI (2015), KORTKAMP *et al.* (2016); FRANCHINI (2017), apresentam as vantagens e as desvantagens do uso desta estrutura. O Quadro 3 reúne tais informações.

Quadro 3 Vantagens e desvantagens no uso de trincheiras de infiltração.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> •Ganho Ambiental: <ul style="list-style-type: none"> •Redução da vazão de pico; •Possibilidade de recarga do lençol subterrâneo; •Remoção de poluentes •Redução de 100% na carga descarregada de águas superficiais. •Ganho paisagístico: <ul style="list-style-type: none"> •Boa integração com o meio. •Ganho financeiro: <ul style="list-style-type: none"> •Baixo custo; •Redução das tubulações devido a redução do escoamento superficial. 	<ul style="list-style-type: none"> •Necessidade de Manutenção periódica; •Riscos de poluição do lençol freático*; •Possibilidade de colmatção; •Difícil aplicação em áreas com altas declividades; •Risco de obstrução devido o carreamento de sedimentos.

*Mesmo sendo eficiente na remoção de poluentes, deve ser evitada a sua construção em áreas com grande aporte de poluentes e em áreas em que a distância da base da estrutura seja inferior a 1,20m em relação ao lençol freático.

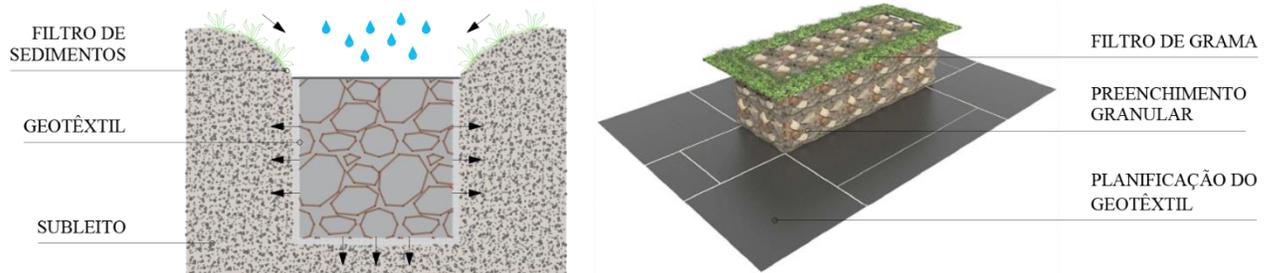
Fonte: Adaptado de TRINDADE (2009); PUZZI (2015), KORTKAMP *et al.* (2016) e FRANCHINI (2017).

2.5.2.2 Estrutura

A trincheira de infiltração tem uma estrutura simples, sendo composta por uma camada de membrana filtrante, preenchida por um material granular. E, para evitar que sedimentos sejam carregados para a estrutura, diminuindo a eficiência com o preenchimento com sólidos, deve-se utilizar uma faixa de vegetação (gramíneas nativas) para que ocorra um pré-tratamento. Acrescenta-se que se a área adjacente promover a distribuição de materiais poluentes, o uso da trincheira deve ser evitado (TASSINARI, 2014; KORTKAMP *et al.*, 2016).

A Figura 3 apresenta a representação de um corte transversal e uma perspectiva ilustrativa de uma trincheira de infiltração.

Figura 3 Corte transversal e perspectiva de uma trincheira de infiltração.



Fonte: Adaptado de KORTKAMP *et al.*, 2016.

Deve-se construir as trincheiras respeitando as larguras e profundidades máximas de 2,0 m. A profundidade ideal dependerá do tipo de solo e da porosidade do material de preenchimento. A Equação 8 indica a relação entre esses fatores (TASSINARI, 2014; TOMAZ, 2016).

$$P_{ideal} = f \cdot T_{esv} / \Phi \quad \text{Equação 8}$$

Onde: P_{ideal} é a profundidade ideal para o lugar de inserção em mm; f é a capacidade de infiltração do solo em mm/h; T_{esv} é o tempo de esvaziamento da trincheira em h; e Φ é a porosidade do material granular.

2.5.2.3 Critérios de dimensionamento

Para o dimensionamento da trincheira de infiltração alguns métodos podem ser aplicados, por exemplo o método das chuvas, o método dos volumes e o método de Puls (BAPTISTA *et al.* 2005). Autores como LUCAS (2011), PUZZI (2015), MELO (2015) utilizam o método da curva-envelope ou “rain envelope method”, proposto por Urbonas e Stahre (1993).

O método deve ser utilizado para o dimensionamento de estruturas de percolação, seguindo critérios de dimensionamento de dispositivos de infiltração (SOUZA, 2002), permitindo que o volume da trincheira seja definido a partir do balanço de massa. Para cada valor de precipitação, o volume acumulado de entrada e o volume de saída são verificados e a máxima diferença entre eles define as propriedades do dispositivo. O uso do método deve ser aplicado em locais com solos pertencentes as classes A ou B (segundo classificação hidrológica do *Soil Conservation Service* dos EUA) e a taxa de infiltração deve ser superior a 0,08 m/h (LIMA, 2009; MELO, 2015).

A princípio o volume do escoamento afluente é determinado a partir do Método Racional multiplicado pelo tempo, representado na Equação 9.

$$V_e = 1,25(C_e \cdot I \cdot t \cdot A_{dren}) \quad \text{Equação 9}$$

Onde: V_e = volume total escoado no tempo t para uma precipitação de T anos de retorno (m^3); C_e = coeficiente de escoamento; I = intensidade da precipitação para T anos de retorno ($l/s/ha$); t = duração da precipitação (h); A_{dren} = área da bacia de contribuição (ha).

O coeficiente 1,25 é utilizado no intuito de corrigir os erros provenientes das simplificações do método, referentes a adoção de bloco único de precipitação (SOUZA, 2002).

Em relação ao coeficiente de escoamento, deve-se considerar, para o dimensionamento, as áreas que sejam impermeáveis e o valor numérico do coeficiente deve se encontrar no intervalo de 0,85 a 0,90 (Urbonas e Stahre, 1993 apud SOUZA, 2002).

Em seguida, é feito um estudo da área, para ser definido o local que será inserido o dispositivo, a partir daí observa-se tanto as limitações de área quanto as limitações de execução de trincheiras. O volume inicial pode ser obtido por meio da resolução da Equação 10.

$$V_s = C \cdot L \cdot P \quad \text{Equação 10}$$

Onde: C = comprimento da trincheira (m); L = largura da trincheira(m); e P = profundidade da trincheira(m).

Posteriormente, determina-se o volume efluente ou de percolação. Este volume depende das condições de infiltração do solo e da área de infiltração, que dependerá das dimensões estipuladas anteriormente (comprimento, largura e profundidade), além da duração da percolação. O volume efluente poderá ser solucionado utilizando a Equação 11.

$$V_e = K_{cor} \cdot \nabla\varphi \cdot \frac{A_{inf}}{2} \cdot (3600 \cdot t) \quad \text{Equação 11}$$

Onde: K_{cor} = condutividade hidráulica saturada corrigida (m/s); A_{inf} = Área de Infiltração (m^2); t = duração da precipitação (h); $\nabla\varphi$ = gradiente hidráulico (m/m)

A condutividade hidráulica dependerá das características do solo. Para a aplicação do método recomenda-se que a condutividade hidráulica seja corrigida utilizando um fator de segurança que pode variar entre 2 e 3, para incluir os efeitos de colmatção. Já o gradiente hidráulico deve ser considerado unitário.

Logo, a condutividade corrigida pode ser expressa conforme a Equação 12.

$$K_{cor} = \frac{k}{coef.seg.} \quad \text{Equação 12}$$

Onde: K_{cor} = condutividade hidráulica saturada do solo (m/s); Coef. Seg. = coeficiente de segurança. E, o gradiente hidráulico $\nabla\phi=1\text{m/m}$.

No caso da área de infiltração, é indicado que a saída de água considerada no cálculo deverá ser referente às laterais do dispositivo, desconsiderando a área de fundo.

Assim, a área de infiltração é representada na Equação 13.

$$A_{inf} = 2 \cdot h(L + C) \quad \text{Equação 13}$$

Onde: A_{inf} = Área de infiltração (m^2); C = comprimento da trincheira (m); L = largura da trincheira(m); e P = profundidade da trincheira(m).

As dimensões finais do dispositivo estão atreladas ao volume final da trincheira, que corresponderá à máxima diferença entre o volume de entrada e o volume de saída, representado pela Equação 14.

$$V_f = \text{máx} (V_e - V_s) \quad \text{Equação 14}$$

Onde: V_f = Volume Final da Trincheira (m^3); V_e = volume total escoado no tempo t para uma precipitação de T anos de retorno (m^3); V_s =volume inicial (m^3)

Já o volume útil da estrutura de infiltração deverá considerar a porosidade do material que será utilizado para preencher o espaço. Assim, o volume útil pode ser determinado pela Equação 15.

$$V_{\text{útil}} = \frac{V_f}{\phi} \quad \text{Equação 15}$$

Onde: $V_{\text{útil}}$ = Volume útil da Trincheira (m^3); V_f = volume final simulado (m^3); ϕ = porosidade do material de preenchimento.

2.6 Custos e Benefícios

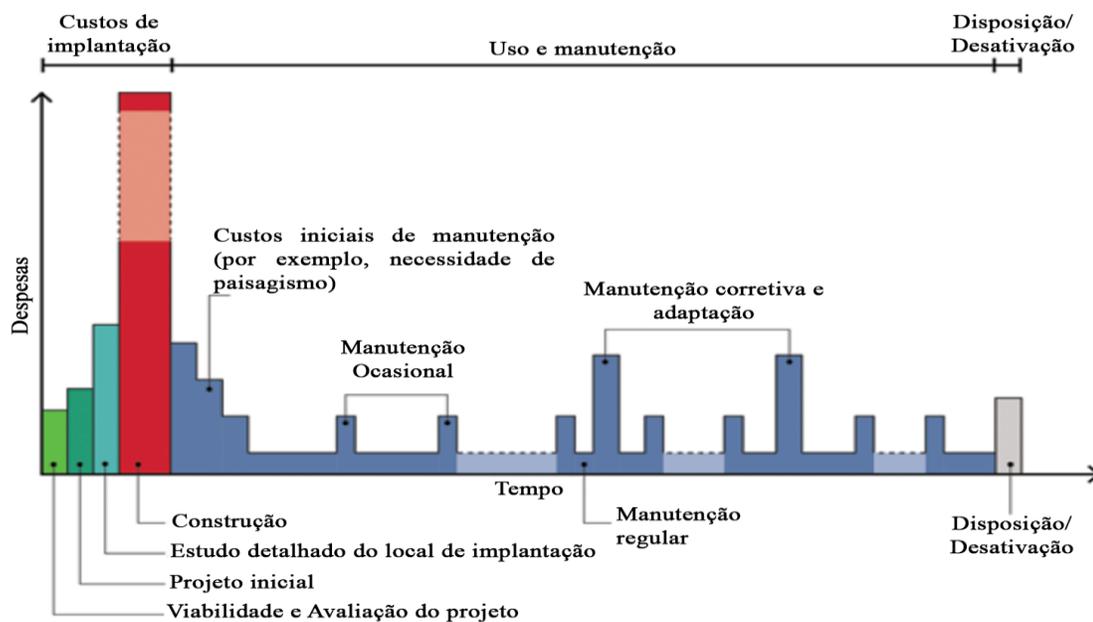
2.6.1 Custos

Para verificar a viabilidade do projeto de drenagem urbana sustentável, uma fase importante é o levantamento dos custos. BALLARD *et al.* (2015) indicam que esta contabilização nem sempre é dada de forma completa, devido a necessidade de estimar alguns dados relevantes, contudo é possível chegar em um valor bastante coerente, que servirá como base em tomadas de decisão.

O método utilizado para compilar todos os custos é conhecido por Valor Econômico Total, que inclui os custos referentes ao tempo de vida do sistema em estudo e leva em consideração os seguintes parâmetros: custos de implantação; custos de manutenção e de monitoramento e custos de desativação (BALLARD *et al.*, 2015; KEATING *et al.*, 2015; ABRAM *et al.*, 2017).

A análise de custos serve também para o melhor gerenciamento dos sistemas. A estimativa deve ser realizada na fase de planejamento no intuito de otimizar o orçamento. Geralmente, a obra deve ser custeada pelo proponente, mesmo que os benefícios sejam estendidos, dependendo da escala do projeto, para a comunidade pertencente à área de implantação. A Figura 4 apresenta um esquema dos custos dos sistemas de drenagem sustentável, ao longo do ciclo de vida das estruturas (BALLARD *et al.*, 2015).

Figura 4 Custo de Vida de um Sistema de Drenagem Urbana Sustentável.



Fonte: Traduzida de BALLARD *et al.* (2015)

É possível observar que os custos mais elevados estão na fase de implantação, sendo a parcela “construção” a mais onerosa. Ainda assim, os demais custos se apresentam de forma expressiva e não devem ser negligenciados.

BALLARD *et al.* (2015) e POÇO (2016) afirmam que mesmo que os custos iniciais de implantação sejam superiores aos custos de implantação da drenagem convencional, de um modo geral os custos globais são inferiores. Os custos de cada fase variam de acordo com o projeto. O projeto por sua vez é determinado a partir de objetivos específicos que dependem das características

do local. No entanto, a partir do dimensionamento dos dispositivos que vão ser instalados, é possível estimar os custos seguindo as seguintes recomendações:

2.6.1.1 Aquisição do terreno

Deve ser compatibilizado se houver a necessidade de aquisição de novas terras, ou caso seja necessário tirar funções das já existentes para abrigar o sistema. Caso o local seja multifuncional, como por exemplo funcionar como um parque ou como um estacionamento, esse custo deve ser desconsiderado.

2.6.1.2 Custos de construção

Esta parcela refere-se aos custos de material, aos custos de construção (custos de obra e equipamentos), custos de plantio (quando não estiver incluído no orçamento de paisagismo ou outro orçamento), dispositivos de controle de erosão e de sedimentos, relocação de dispositivos (caso seja necessário). Os custos de construção sofrem influência do tipo de solo, das características e da quantidade dos materiais especificados, da região de implantação e de obras que sejam executadas fora do local.

2.6.1.3 Custos de manutenção e operação

São referentes às intervenções feitas no local, ou seja, modificação do *layout* para a adequação do projeto, paisagismo, etc. Caso a área tenha funções recreacionais, faz necessário computar se haverá custos para manter a área isolada durante a implantação.

Além disso, deve-se incluir os seguintes custos: inspeção; manutenção regular (limpeza, por exemplo); manutenção ocasional (danos às estruturas, por exemplo); manutenção corretiva (substituição de materiais desgastados, por exemplo).

Assim como nos custos de construção, devem ser considerados a mão de obra, os custos de materiais e equipamentos.

2.6.1.4 Custos de monitoramento

O monitoramento do sistema é necessário e pode ser exigido pelo órgão regulador.

2.6.1.5 Custos de desativação

Os custos de desativação são referentes aos custos para a desativação do sistema, com reconstrução do local ou referentes à reabilitação do sistema.

2.6.1.6 Custos evitados

Muitos custos podem ser evitados com a implantação do sistema, estes devem ser analisados de forma criteriosa.

2.6.1.7 Custos de oportunidade

Os custos de oportunidade são relativos aos ganhos obtidos com a implantação do sistema.

2.6.2 Benefícios

Além dos custos, outra fase importante é a avaliação dos benefícios. Tais benefícios justificam o investimento realizado, ou seja, representam o retorno. Diversos autores, GRAHAM *et al.* (2012), BALLARD *et al.* (2015), DAVIES *et al.* (2015), SYMONS *et al.* (2015), GEHRELS *et al.* (2016), SANTOS (2016) e GHOFRANI *et al.* (2017), apresentam exemplos dos benefícios gerados com o sistema sustentável de drenagem. E, assim como os custos, os benefícios dependem altamente com o contexto do local.

2.6.2.1 Benefícios Gerais

A Tabela 1 diz respeito aos benefícios potenciais apresentados de forma recorrente na literatura. De toda forma, a maioria dos autores citados concordam que nem todos os benefícios foram expostos, sendo estes os mais perceptíveis. A tabela 1 produzida por GEHRELS *et al.* (2016) resume os benefícios citados por diversos autores, acrescentando ponderações para cada benefício esperado pela melhoria na infraestrutura da cidade em termos financeiros, saúde humana, ambientais, entre outros. Tais valores foram determinados baseados em pesquisas, onde os benefícios foram avaliados e podem servir de base para analisar qualitativamente o uso das medidas compensatórias.

Tabela 1 Ponderações dos benefícios obtidos com serviços ecossistêmicos.

Aspecto	Benefício esperado	Financeiros	Saúde Humana	Ambientais	Outros
Adaptação Climática	Redução do escoamento das águas pluviais	2	1	1	1
	Melhor qualidade do ar	0	2	1	0
	Microclima urbano melhorado	1	2	1	0
	Melhor qualidade da água	1	1	1	0
	Reforço da recarga de água subterrânea	1	0	1	1
Mitigação Climática	Uso de energia reduzido	2	0	1	0
	Emissão reduzida de CO2	1	0	2	0
Economia circular	Maior vida útil da infraestrutura	2	0	1	0
	Laço de contribuição de água fechado	1	1	2	0
	Circuito energético de contribuição fechado	2	1	1	0
	Contribuição fechada (outro) ciclo de mercadoria	1	1	2	0
Outros serviços	Aumento das possibilidades de lazer	1	1	0	0
	Maior valor de amenidade	0	1	0	1
	Maior coesão social	0	1	0	1
	Aumento da atividade física	0	2	0	0
	Redução da poluição sonora	0	1	1	0
	Melhoria da função do habitat e biodiversidade	0	0	1	1
	Aumento da produção de alimentos	1	1	0	0
	Comportamento criminal reduzido	1	1	0	1
Redução da necessidade de gerenciamento e manutenção	2	0	1	1	
Onde: 0 = sem benefício potencial; 1 = benefício potencial com baixa certeza; e 2 = um benefício potencial com alta certeza.					

Fonte: Traduzida de GEHRELS *et al.* (2016)

2.6.2.2 Benefícios específicos

A tabela 1 apresenta uma visão geral dos benefícios alcançados com o uso de técnicas que valorizam os processos naturais. Entretanto, devido a especificidade de cada projeto, é necessário verificar como cada estrutura se comporta dentro da área de estudo, identificando os benefícios gerados especificamente por cada uma (GRAHAM *et al.*, 2012).

Em resumo o Quadro 4 apresenta os benefícios gerados pelos pavimentos permeáveis e pelas trincheiras de infiltração, baseados na literatura.

Quadro 4 Comparação dos benefícios gerados por pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.

Pavimentos Permeáveis	Trincheiras de Infiltração
<ul style="list-style-type: none"> • Reduz o volume de escoamento e atenua os fluxos de pico. • Melhora a qualidade da água reduzindo sedimentos de grãos finos, matéria orgânica e vestígios de metais. • Reduz o efeito ilha de calor • Facilita a recarga de águas subterrâneas. • Fornece redução de ruído. • Pode aumentar a segurança na condução reduzindo a quantidade de água. • Pode aumentar a segurança para pessoas com deficiência, proporcionando superfícies texturizadas e antiderrapantes e reduzindo a formação de lagoas. • Pode ser usado como um elemento de design para fornecer benefícios estéticos. • Os custos de construção podem ser comparáveis ou inferiores aos da pavimentação tradicional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Melhora a qualidade da água removendo sedimentos, nutrientes, matéria orgânica e metais residuais. • Reduz o volume de escoamento e atenua os fluxos de pico. • Melhora a hidrologia urbana e facilita a recarga das águas subterrâneas. • Baixos custos de construção e manutenção.

Fonte: Baseado em BAHIENSE (2013); IMADA (2014); KIPPER (2015); MOREIRA (2016); POÇO (2016).

Tendo em vista o uso de pavimento permeável e trincheiras de infiltração, o Quadro 5 apresenta uma quantificação dos benefícios esperados, por cada uma das estruturas.

Quadro 5 Benefícios esperados com o uso de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.

	Pavimentos Permeáveis	Trincheiras de Infiltração
Benefícios hidráulicos - pequenos eventos	■	■
Benefícios hidráulicos - grandes eventos	■	■
Benefícios da Qualidade da Água	■	■
Benefícios de Amenidade	■	□
Benefícios ecológicos	□	□
Disponibilidade de Terrenos	■	■
Construção e Operação	■	■
Onde: □ = Baixo; ■ = Moderado; ■ = Alto		

Fonte: Adaptado de KORTKAMP *et al.* (2016)

O Quadro 6 estabelece uma comparação entre as duas estruturas.

Quadro 6 Características das trincheiras de infiltração comparadas as características dos pavimentos permeáveis.

	Trincheira de Infiltração	Pavimentos Permeáveis
Vida Útil	10 anos	25 anos
Redução do Escoamento Superficial	100%	Muito alto
Área de inserção	Pequena em relação a área de drenagem	Não há necessidade de ter terreno adicional disponível Pode ser usado para áreas pequenas ou grandes
Qualidade da água	Muito boa	Muito Boa
Amenidade	Recarga das águas subterrâneas	Recarga das águas subterrâneas Uso múltiplo da área
Instalação	A 5,00 metros de fundações	-
Manutenção	Evitar que detritos entrem na unidade	Limpeza da superfície para evitar entupimentos.

Fonte: Baseado em BALLARD *et al.* (2015); KORTKAMP *et al.* (2016)

Além disso, ao escoar pelas estruturas de infiltração, a água recebe um tratamento inicial, onde os poluentes ficam retidos no reservatório. Dependendo do material utilizado na concepção da estrutura, este tratamento pode ser intensificado, ou seja, a retenção dos poluentes será maior dentro da estrutura, evitando a contaminação do solo durante a infiltração (KORTKAMP *et al.*, 2016). O Quadro 7 apresenta a eficiência na remoção de poluentes para as trincheiras de infiltração e para os pavimentos permeáveis.

Quadro 7 Eficiência das trincheiras de infiltração e dos pavimentos permeáveis quanto à remoção de poluentes.

	Trincheira de Infiltração	Pavimento Permeável
Remoção de poluentes	■	■
Sedimentos *	□	■
Nutrientes	■	■
Orgânicos	■	■
Lixo *	□	□
Metal	■	■
Bactérias	■	■
Óleo / graxa	■	□
Onde: □ = Baixo; ■ = Moderado; ■ = Alto; * Requer pré-tratamento.		

Fonte: Adaptado de KORTKAMP *et al.* (2016)

A partir dos dados expostos, é possível relacionar os benefícios gerais com os benefícios específicos, verificando de que forma a drenagem urbana sustentável pode interferir no local, em termos qualitativos.

3 Metodologia

Neste tópico será apresentada a metodologia adotada para o alcance dos objetivos. Estruturada em etapas, a princípio foi feito o levantamento das características da área de estudo referentes as propriedades do solo, a vegetação remanescente, a declividade, a profundidade do lençol freático, dados de precipitação e uso e ocupação de solo. Este levantamento, caracterizou o cenário BASE, correspondente à situação atual do local estudado, que serviu de comparativo para a análise dos demais cenários criados.

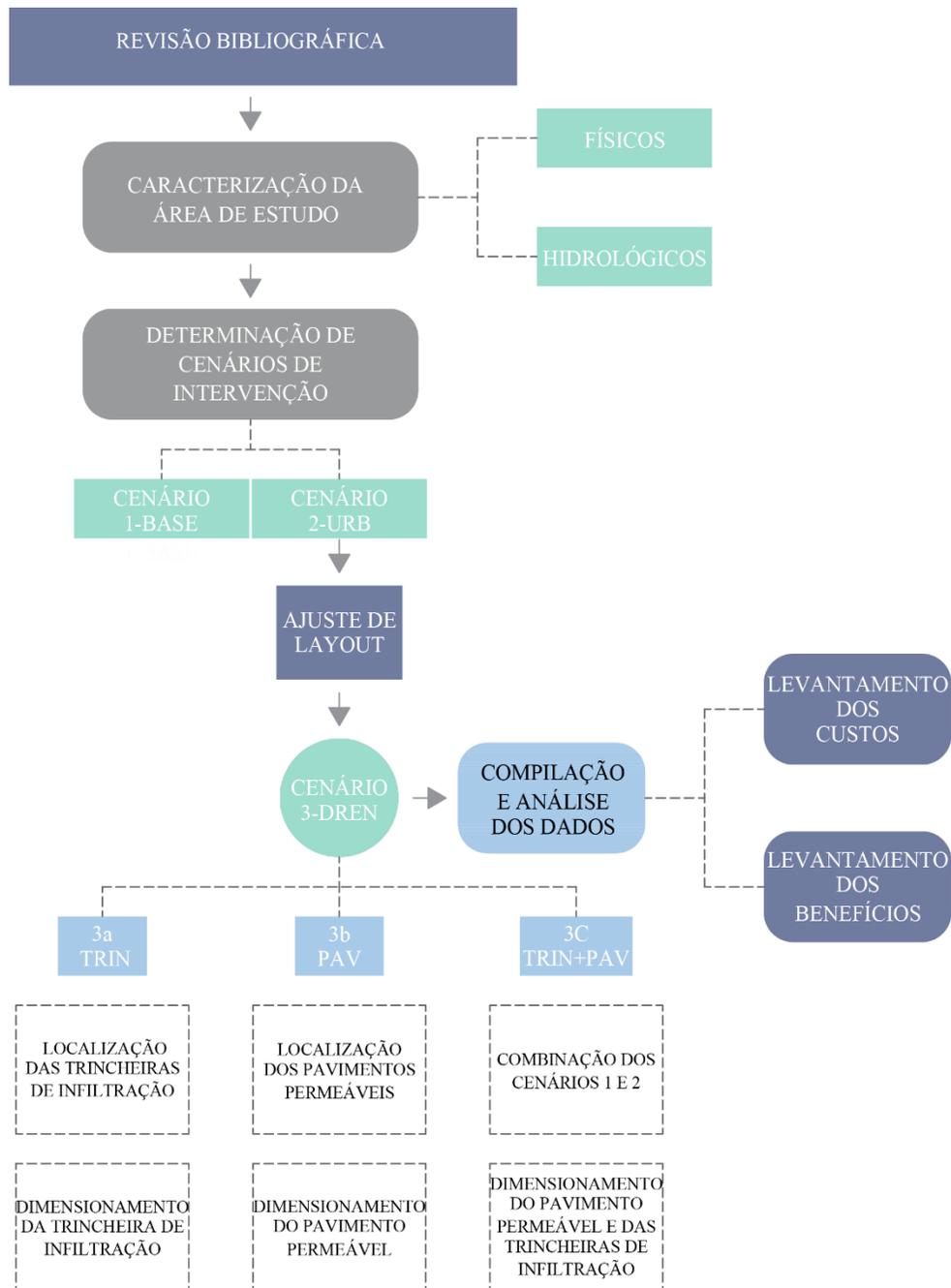
Em seguida, com base na proposta de intervenção urbanística de OLIVEIRA (2017), intitulado cenário URB, verificou-se a nova configuração de uso e ocupação de solo. Ainda nesta etapa, foi analisado como o layout poderia ser ajustado para receber as medidas compensatórias de drenagem sem interferir na estrutura das edificações. O ajuste do layout caracterizou o cenário DREN. A partir disto, foi verificada a disponibilidade de espaço para inserção das trincheiras de infiltração e dos pavimentos permeáveis. Baseado nestas informações, três novos cenários foram criados, o cenário composto por trincheiras de infiltração (TRIN), o cenário composto por pavimentos permeáveis (PAV), e o cenário representado pela associação das duas medidas (TRIN+PAV).

A terceira etapa, é correspondente ao dimensionamento das estruturas para os três cenários citados, sendo utilizado o Método da curva envelope, já descrito no tópico referencial teórico, nos itens “pavimento permeável” e “trincheira de infiltração”. Para o dimensionamento do cenário TRIN, com base na limitação de área, foram realizadas simulações alternando os valores de profundidade e largura. Para o cenário PAV, a profundidade requerida foi determinada. E, para o cenário TRIN+PAV, o escoamento gerado nas áreas de vias de acesso, estacionamentos, passarelas e ciclovias foi destinado aos pavimentos permeáveis, e o escoamento gerado nas áreas de edificações e calçadas foi destinado às trincheiras de infiltração, permitindo simular as características físicas e hidrológicas das estruturas. Ao final do dimensionamento, foi determinada a vazão de pico para cada cenário (BASE, URB, TRIN, PAV E TRIN+PAV) utilizando o método racional.

A etapa posterior diz respeito a composição de custos, na qual foi utilizado o Método do custo efetivo total, que considera os custos de toda a vida útil do sistema, ou seja, planejamento, licenças requeridas, construção, monitoramento, manutenção e desativação ou reabilitação das estruturas. Logo após, utilizando dados da literatura e de modo subjetivo, foi realizada a

ponderação dos benefícios esperados, sendo dividido em benefícios financeiros, ambientais, de saúde humana e outros benefícios. Por fim, os três cenários foram analisados quanto à área de abrangência das estruturas, quanto aos custos de inserção das estruturas por unidade de área, quanto ao valor do abatimento da vazão de pico e quanto a relação de custos e benefícios. A Figura 5 apresenta um fluxograma indicativo das etapas da pesquisa.

Figura 5 Etapas metodológicas.



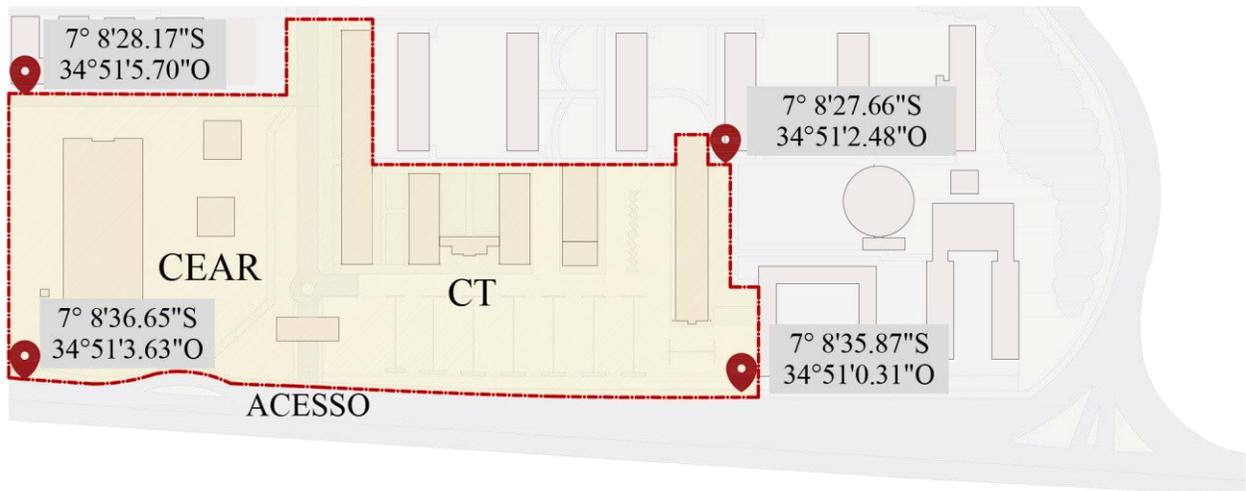
Fonte: Autora, 2018.

3.1 Caracterização da área de estudo

A Universidade Federal da Paraíba (UFPB) é uma instituição de ensino superior que, juntamente com a sociedade, tem como missão promover o progresso científico, tecnológico, cultural e socioeconômico local, regional e nacional. Para que isso ocorra, suas atividades devem estar atreladas ao desenvolvimento sustentável e ao exercício da cidadania. E, qualquer intervenção proposta deverá levar em consideração as questões ambientais, econômicas e sociais (UFPB, 2014). Para o estudo escolhe-se um recorte da área da UFPB referente a parte dos estacionamentos do Centro de Tecnologia (CT) e do Centro de Energias Alternativas (CEAR).

A área estudada está compreendida entre as coordenadas 7° 8'28" - 7° 8'36" de Latitude Sul, e 34° 51'5" e 34° 51'0" de Longitude Oeste de Greenwich, e sua superfície apresenta cerca de 31.376,90 m², conforme visto na Figura 6.

Figura 6 Localização Geográfica da área de Estudo.



Fonte: Adaptado de PREFEITURA UNIVERSITÁRIA DA UFPB².

3.1.1.1 Legislação

As diretrizes a serem seguidas acerca dos serviços de saneamento básico, ou seja, dos serviços de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, são dispostas na Lei 11.445

² Baseado em dados do Google Earth

de 2007. Esta lei estabelece que tais sistemas devem ser concebidos no intuito de promover a proteção da população contra riscos epidemiológicos, sanitários e patrimonial onde, cabe a cada município a elaboração da Política Nacional de Saneamento Básico própria.

Em João Pessoa, a lei que dispõe sobre a Política Municipal de Saneamento Básico é a Lei Complementar nº 93 de 2015, onde é ressaltada no art. 8º, inciso II, a necessidade de ajustar ao planejamento, questões relativas ao crescimento urbano e rural de modo a:

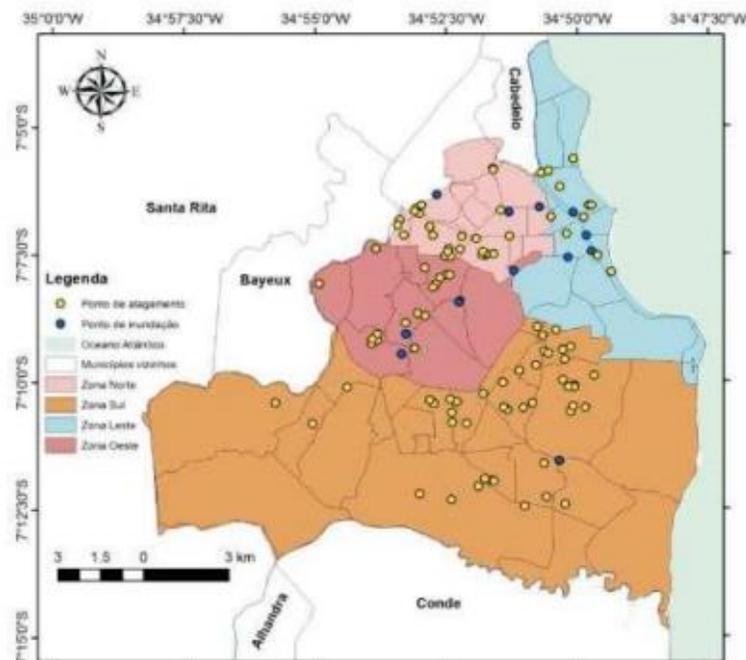
resolver problemas de escassez de recursos hídricos, qualidade da água, ordenamento dos aglomerados urbanos, dificuldades de manejo e da drenagem de águas pluviais, da disposição adequada de esgotos, da poluição, das enchentes, da destruição de áreas verdes, do assoreamento de rios e outras consequências p.2

Em termos de drenagem urbana de águas pluviais, foi realizado o diagnóstico para o município, levando em consideração informações acerca do

micro e macrozoneamento do município, das bacias hidrográficas, da drenagem e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, do sistema de drenagem de águas pluviais, das áreas críticas e áreas passíveis de alagamentos, das inundações e escorregamento de massa e, ainda, uma análise sobre a saúde e às condições de vida da população. P 36

Apesar do diagnóstico apresentar áreas susceptíveis a movimentação de massa, o prognóstico objetiva resolver primordialmente as questões relativas aos problemas de alagamento e inundação. Na Figura 7 são observados os principais pontos de alagamento e inundação da área urbana do município de João Pessoa.

Figura 7 Pontos com problemas de alagamento e inundação na área urbana, João Pessoa-PB



Fonte: Lei complementar nº93, 2015.

Em relação ao projeto de drenagem, mesmo que no município de João Pessoa sejam identificados pontos com problemas de alagamento e inundação, no prognóstico apresentado, as técnicas tradicionais de drenagem urbana, baseadas no rápido escoamento, direcionado a jusante, devem continuar sendo empregadas, sendo acrescentado que “evidentemente, não há prejuízo para populações a jusante, uma vez que, sendo um município costeiro as águas escoadas, rapidamente atingem o oceano por meio dos cursos d’água que cruzam o meio urbano” (Lei complementar nº93, 2015. p 131). Entretanto, o uso de medidas sustentáveis de drenagem urbana não é descartado podendo ser “examinadas segundo as oportunidades para sua adoção em novas expansões urbanas” (Lei complementar nº93, 2015. p 131). Em relação a adoção de medidas compensatórias, devem ser observadas as legislações pertinentes ao uso e ocupação de solo, para medidas que funcionem baseadas na infiltração. Para João Pessoa, em 2005 foi sancionada a Lei nº 10.479, onde era estabelecido que todo lote, edificados ou não, que possuísse área impermeabilizada superior a 300m² (trezentos metros quadrados) deveria ter 30% (trinta por cento) de sua área com piso drenante ou com área naturalmente permeável. Todavia, com a revisão do Código de Urbanismo, Lei nº 2.102, de 1975, em 2007, é mantido o percentual mínimo de área permeável em edificações verticais igual a 4% (quatro por cento), por número de frente do lote e, os passeios devem apresentar um percentual de no mínimo 10% (dez por cento) de sua área total destinados a ajardinamentos (Decreto nº 5.900, 2007).

De toda forma, os principais aspectos necessários para a realização do projeto de drenagem sustentável, referem-se aos aspectos físicos e hidrológicos. Neste tópico serão apresentados, em resumo, as questões relevantes para dimensionamento das estruturas nos diferentes cenários criados.

3.1.2 Aspectos Físicos

3.1.2.1 Vegetação

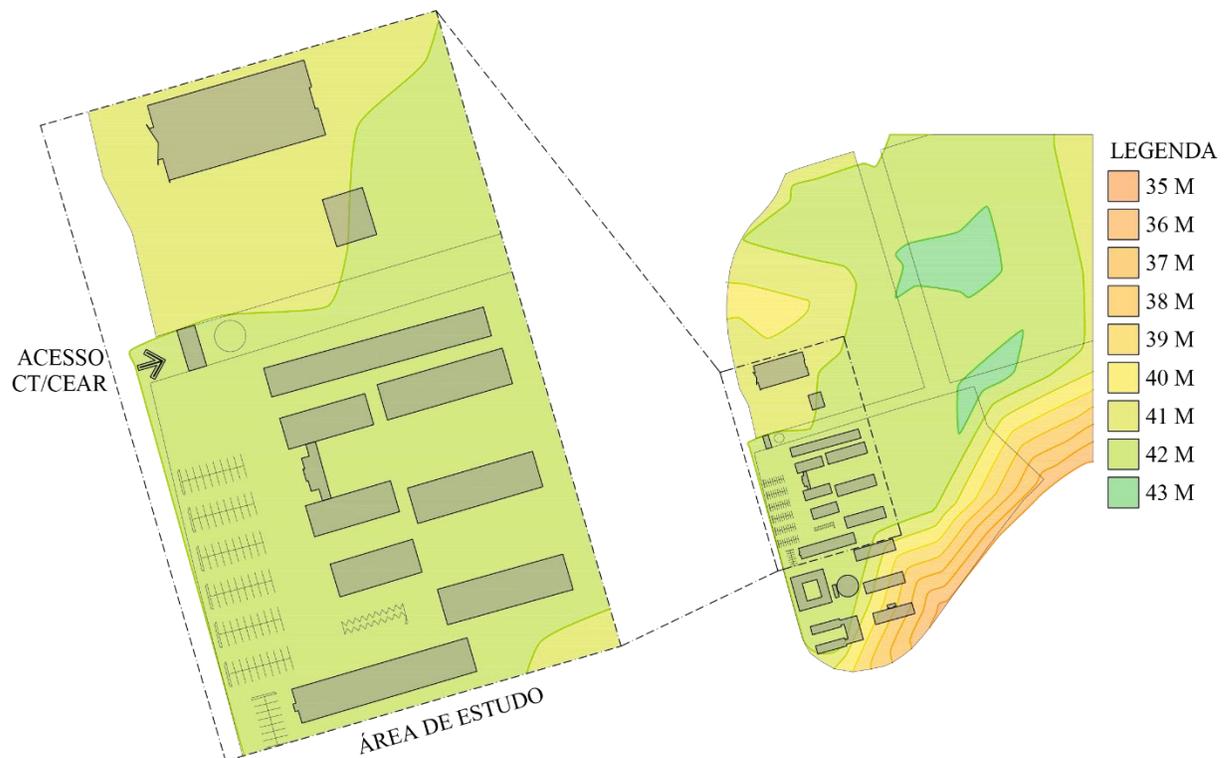
O campus I está inserido dentro do bioma Mata Atlântica, possuindo 43,98 hectares de área verde em seu interior, distribuídos em oito fragmentos. Além disso, no entorno do Campus encontram-se distribuídos 47,30 hectares de área de mata. Ainda em relação a Mata Atlântica, em 2012 foi realizado um diagnóstico, onde constatou-se que a cidade de João Pessoa possui 30,67% de remanescentes florestais deste bioma, totalizando 4.659,83 hectares (SILVA, 2015).

Dessa forma, a UFPB conta com cerca de 2% do total de mata remanescente. Contudo, o recorte referente à área de estudo conta com apenas 4% da área composta de vegetação, onde, segundo OLIVEIRA (2017), somam 26 espécies, distribuídas em árvores de grande porte, médio porte e arbustivas.

3.1.2.2 Topografia

De acordo com a base cartográfica do município de João Pessoa, a área de estudo tem uma pequena variação de cota topográfica, onde a área referente ao CEAR encontra-se na cota igual a 41,00m e a área referente ao estacionamento do CT na cota igual a 42,00m (PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA-PMJP, 2018). A representação topográfica para a área de estudo encontra-se na Figura 8.

Figura 8 Topografia da área de estudo



Fonte: Adaptado de PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA-PMJP, 2018 e PREFEITURA UNIVERSITÁRIA DA UFPB, 2018.

3.1.2.3 Solos

Segundo os mapas do Serviço Geológico do Brasil e da Agência de Águas da Paraíba, a área de Estudo está inserida na área litorânea do Estado. GOMES *et al.* (2017) indicam que o solo da região é do tipo Argissolos da subordem vermelho-amarelo. Segundo SARTORI *et al.* (2005)

este tipo de solo está inserido no grupo Hidrológico B, que “apresenta potencial de escoamento relativamente baixo quando completamente molhado”, sendo caracterizado pela condutividade hidráulica saturada na camada menos transmissiva entre a superfície e 50 centímetros varia de 10,0 micrômetros por segundo a 40,0 micrômetros por segundo (NOCKUS, 1972). Para a capacidade de infiltração, TRINDADE (2009) aponta que o valor correspondente para solos pertencentes ao grupo Hidrológico B é igual a 12,7 mm/h.

3.1.2.4 Profundidade do Lençol freático

A profundidade do lençol freático é uma variável de grande importância no estudo de medidas compensatórias de drenagem. O nível do lençol deve se encontrar a uma distância mínima de 1,20m da base da estrutura adotada, de modo a evitar a contaminação das águas subterrâneas, caso o aporte de poluente supere a capacidade de filtração das estruturas. Para o estudo, baseado na pesquisa realizada por SOARES (2011), verificou-se que a inserção das estruturas, atende aos requisitos de segurança.

3.1.3 Aspectos Hidrológicos

Em termos hidrológicos, o aspecto estudado foi a vazão de pico. Para a determinação da vazão para cada cenário em estudo, utilizou-se o Método Racional que é utilizado para determinar a vazão de pico de uma determinada bacia hidrográfica, necessitando de informações acerca dos tipos e áreas de superfícies que compõem a bacia e seus respectivos coeficientes de escoamento e da intensidade de chuva da região (SOUZA *et al.*, 2017). O método poder ser utilizado no dimensionamento de estruturas de infiltração, pois estas, geralmente, são empregadas em pequenas bacias (TRINDADE, 2009; SOUZA, 2002; SOUZA *et al.*, 2017).

3.1.3.1 Intensidade de chuva

A intensidade da precipitação é determinada a partir da curva IDF do local que é definida a partir de ajustes probabilísticos de dados de eventos extremos verificados em séries históricas (FESTI, 2007; FREITAS, 2016; SILVA, 2016).

FESTI (2007) enfatiza que, caso não haja dados pluviográficos é possível utilizar os parâmetros determinados por Otto Pfafstetter (1957) de uma região que seja próxima e com características análogas. No caso do município de João Pessoa a intensidade de chuva pode ser

determinada pela expressão apresentada na Equação 16, utilizando a curva citada por COSTA (2013) e CASTRO et al. (2015).

$$i = \frac{886,013.T_r^{0,164}}{(t+20)^{0,727}} \quad \text{Equação 16}$$

Onde: i = intensidade da chuva (mm/h); T_r = tempo de retorno (anos); t = duração da chuva (minutos)

3.1.3.1.1 Tempo de retorno

Por se tratar de adoção de técnicas compensatórias de drenagem favorecendo a infiltração dos excedentes de água, BAPTISTA *et al.* (2005) recomendam que o tempo de retorno seja adotado entre 1 a 50 anos. Para as trincheiras de infiltração, LIZÁRRAGA-MENDIOLA *et al.* (2017) afirma que é possível considerar o tempo de retorno igual a um ano. Neste caso, utilizou-se o tempo igual a 5 anos que, para microdrenagem corresponde ao tempo indicado para áreas com edifícios de serviço público.

3.1.3.1.2 Duração de chuva

Para a simulação de os todos os cenários, a duração da chuva foi discretizada em intervalos de 5 minutos.

Para a determinação da vazão de pico de projeto a duração foi igualada ao tempo de concentração, que é o tempo necessário para que o escoamento percorra toda a bacia hidrográfica (TOMAZ, 2013). Quando o escoamento ocorre em superfícies é possível determinar o tempo de concentração utilizando a Equação 17.

$$T_c = \frac{5,474.(nL)^{0,8}}{P_{24}^{0,5}.S^{0,4}} \quad \text{Equação 17}$$

Onde: T_c : Tempo de concentração (minutos); n : Coeficiente de rugosidade de Manning; L : Comprimento ao longo do escoamento (m); P_{24} : Precipitação com 24 h de duração (mm), segundo IDF da área de estudo e para o tempo de retorno de projeto; S : Declividade (m/m).

Para a área estudo, o coeficiente de rugosidade adotado refere-se a superfície alisada (concreto, asfalto, pedregulho ou solo exposto) com valor igual a 0,011 (IPH, 2005).

Para determinar a declividade do local, foi identificado a maior extensão de comprimento da área de estudo, com auxílio do software AutoCAD, considerando a direção do escoamento superficial. A equação 18 apresenta a expressão para determinar a declividade do local.

$$n = \frac{(Cota\ sup - Cota\ inf)}{L} \quad \text{Equação 18}$$

Onde: n é a declividade da bacia; Cota sup é a cota topográfica superior (m); Cota inf é a cota topográfica inferior (m) e L é o maior comprimento identificado na bacia hidrográfica (m).

3.1.3.2 Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento é uma grandeza adimensional relacionada ao escoamento superficial e refere-se à relação entre o volume que escoo sobre o terreno e o volume total de chuva. Na literatura é possível observar valores adotados para o coeficiente de acordo com a superfície, ele pode variar de 0 a 1, sendo os valores próximos de “0” (zero) referentes às áreas mais permeáveis e os mais próximos de 1 correspondentes às áreas menos permeáveis (LIMA, 2009; TOMAZ, 2013).

Para verificar o coeficiente de escoamento da área de estudo é necessário verificar as tipologias de uso de solo, as áreas correspondentes e a partir daí determinar o coeficiente fazendo uma média ponderada de acordo com a área de cada tipo de uso e seu coeficiente relacionado. Este estudo determinou os coeficientes de escoamento para cada cenário, utilizando dados disponibilizados na literatura. A Equação 19 demonstra como deve ser efetuada a média ponderada.

$$Ce_{med} = \frac{\sum Ce_i.A_i}{\sum A_i} \quad \text{Equação 19}$$

Onde: Ce= coeficiente de escoamento A= área de cada porção de tipo de uso de solo.

Os coeficientes utilizados no estudo estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 Coeficientes de escoamento para diversos tipos de superfícies.

Tipologia	Ce indicado	Ce adotado	Autor
Edificações	0,70-0,95 0,90	0,90	BAPTISTA <i>et al.</i> (2005) CAPUTO (2012)
Vias em asfalto	0,70-0,95	0,825	BAPTISTA <i>et al.</i> (2005)
Vias calçadas	0,70-0,85 0,60	0,70	BAPTISTA <i>et al.</i> (2005) ARAÚJO <i>et al.</i> (2000)
Solo Exposto	0,66	0,66	ARAÚJO <i>et al.</i> (2000)
Calçada em Concreto	0,70-0,95 0,95	0,95	BAPTISTA <i>et al.</i> (2005) ARAÚJO <i>et al.</i> (2000)
Estacionamento calçados	0,70-0,85 0,60	0,70	BAPTISTA <i>et al.</i> (2005) ARAÚJO <i>et al.</i> (2000)
Áreas Verdes	0,10-0,25	0,175	BAPTISTA <i>et al.</i> (2005)
Concreto Permeável	0,005	0,005	ARAÚJO <i>et al.</i> (2000)
Blocos de Concreto	0,78	0,78	ARAÚJO <i>et al.</i> (2000)
Blocos Vazados	0,03	0,03	ARAÚJO <i>et al.</i> (2000)

Fonte: Baseado nos autores citados, 2018.

3.1.3.3 Áreas

Para cada cenário foram determinadas as áreas referentes a cada tipo de uso e ocupação do solo. Os valores encontram-se no detalhamento dos cenários.

3.2 Caracterização dos Cenários

O Quadro 8 apresenta em resumo a descrição, a relevância e de que modo o cenário contribuiu para o estudo.

Quadro 8 Descrição, relevância e aspectos estudados nos cenários 1, 2 e 3.

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
<ul style="list-style-type: none"> •Descrição: •Cenário sem intervenções, referente a situação atual da área de estudo. •Sem aplicação de Técnicas. •Relevância: •Este cenário servirá de base para comparação entre os demais cenários. •Análises: •Aspectos Físicos •Aspectos Hidrológicos 	<ul style="list-style-type: none"> •Descrição: •Cenário com intervenções no desenho urbano do local proposto por OLIVEIRA (2017). •Relevância: •A partir da análise do layout proposto, identificou-se as limitações Urbanísticas e de infraestrutura para a inserção de técnicas compensatórias. •E, desse modo, propôs-se ajustes ao layout para melhor adequação das estruturas de drenagem. •Análises: •Aspectos Urbanísticos e de infraestrutura •Aspectos Hidrológicos 	<ul style="list-style-type: none"> •Descrição: •Cenário com ajustes do layout do cenário 2. •Relevância: •Partindo dos ajustes na proposta de intervenção urbanística inicial para a área de estudo estudou-se a possibilidade de inserção de duas técnicas compensatórias de modo isolado e em associação, originando 3 novos cenários: •3a- Uso de Trincheiras de Infiltração. •3b- Uso de Pavimentos Permeáveis •3c- Uso das duas técnicas. •Análises: •Aspectos Hidrológicos

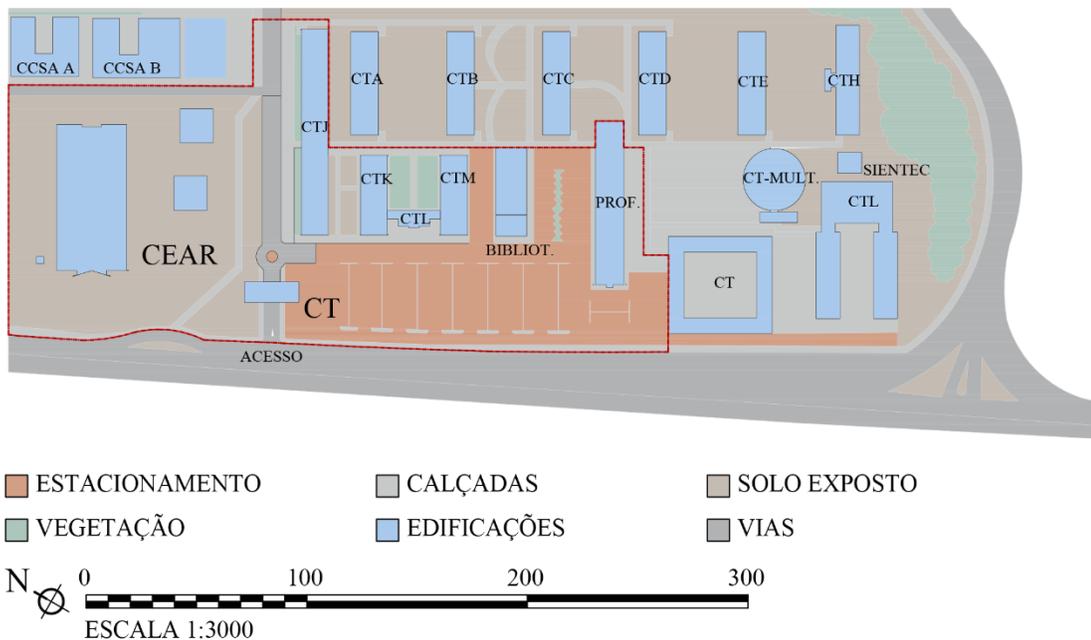
Fonte: Autora, 2018.

3.2.1 Cenário 1- BASE

O primeiro cenário refere-se à situação atual da área de estudo, ou seja, sem intervenções arquitetônicas nem de drenagem. A análise deste cenário serviu de referência para os demais cenários. Este será intitulado de “BASE”.

A área atual pode ser dividida em duas subáreas, sendo a primeira área referente ao estacionamento do Centro de Tecnologia (CT) e a segunda correspondendo à área do estacionamento do Centro de Energias Alternativas Renováveis (CEAR) da UFPB. A Figura 9 apresenta o *layout* referente ao cenário BASE.

Figura 9 Área de estudo sem intervenções- Cenário BASE



Em relação ao sistema de drenagem de águas pluviais da área de estudo, observa-se existe uma galeria de concreto, próximo ao prédio “CTJ”, com fluxo direcionado a uma boca de lobo com grelha, sendo direcionado a tubulação externa ao prédio.

O sistema de drenagem atual pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 Microdrenagem da área de estudo.



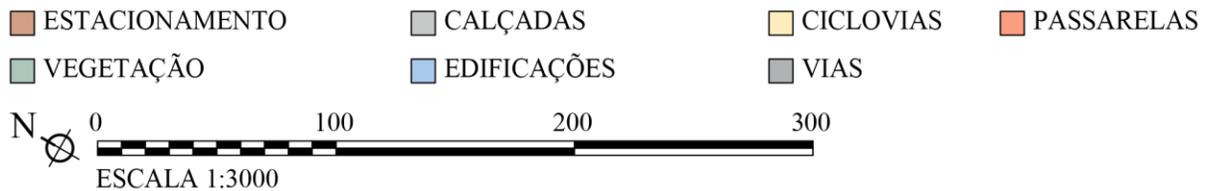
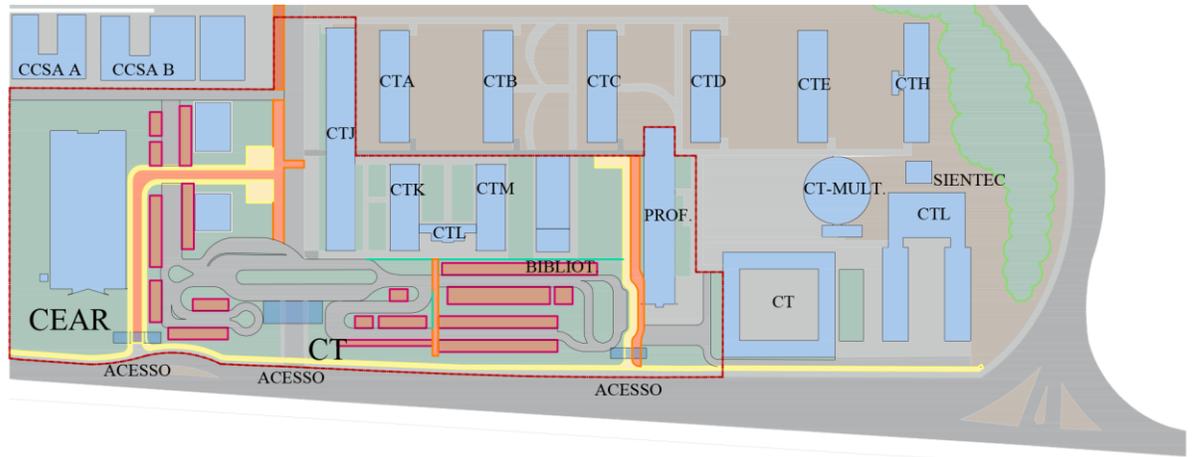
Fonte: Adaptado de PREFEITURA UNIVERSITÁRIA DA UFPB, 2018.

3.2.2 Cenário 2- URB

A partir de medidas focadas na mobilidade sustentável, com uma urbanização capaz de melhorar a qualidade ambiental e de vida no local, OLIVEIRA (2017), após estudo das características locais, propôs uma remodelação para o campus. Com intervenções nas áreas de estacionamento do Centro de Tecnologia (CT) e da área vazia do Centro de Energias Alternativas Renováveis (CEAR) da UFPB, todo o sistema viário e de estacionamento foi remodelado. Além disso, o acesso a outros centros foi fechado. Embora com a implementação da proposta seja observada uma redução em 30% do número de vagas de estacionamento das duas áreas, a redução favorece ao transporte não motorizado, sendo propostos dois acessos para pedestres e ciclistas. Além de outras medidas, ressalta-se a criação de novas áreas verdes e preservação da arborização

existente. Dessa forma, intitulou-se o *layout* proposto por OLIVEIRA (2017) de cenário “URB”. O *layout* proposto pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 Proposta de *layout* para a área de estudo- Cenário URB



Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2017)

Neste cenário verificou-se os aspectos urbanísticos e de infraestrutura, no que se refere as limitações para a inserção de medidas compensatórias, de modo a não interferir na estrutura das edificações.

CAPUTO (2012) e KORTKAMP *et al.* (2016) indicam que para a instalação de dispositivos de infiltração é necessário respeitar uma distância mínima da estrutura às edificações, visando não prejudicar a estabilidade das fundações. Tal distância dependerá da condutividade hidráulica do solo. Dessa forma, para o estudo, adotou-se uma distância mínima de 5,00 metros. Com isto, foi necessário readequar a proposta de intervenção, respeitando esta medida.

O ajuste do *layout* se deu de modo interdisciplinar, juntamente com a profissional de arquitetura responsável pela proposta de intervenção, respeitando a acessibilidade do sistema e o dimensionamento adequado das vias. O primeiro passo foi o reposicionamento das passarelas e ciclovias, respeitando o afastamento de dispositivos de infiltração, as construções e as divisas. Em seguida, propôs-se o reposicionamento de uma área destinada à estacionamento para outro local. Por fim, sugeriu-se ajustes nas vias de acesso.

3.2.3 Cenário 3- DREN

O cenário 3 corresponde ao *layout* obtido após os ajustes, sendo referenciado como cenário DREN. Neste cenário foram inseridos os dispositivos de drenagem urbana sustentável, originando os cenários 3a, 3b e 3c. O cenário 3a buscou melhorias a partir da inserção de trincheiras de infiltração e o cenário 3b estudou o comportamento de pavimentos permeáveis em termos hidrológicos. Por fim, o cenário 3c correspondeu a associação das duas medidas de controle.

3.3 Uso e ocupação do solo

Com base no layout, as tipologias de uso e ocupação de solo foram identificadas e com o auxílio do software AutoCAD, todas as áreas foram quantificadas e, a partir desses valores verificou-se a relação entre a área permeável (solo exposto e áreas de vegetação) e impermeável, deste cenário.

3.4 Dimensionamento das Estruturas

Para o dimensionamento das estruturas é necessária a informação relacionada aos aspectos físicos e hidrológicos do local, tais informações encontram-se detalhadas no tópico “Caracterização da área de estudo”, nos itens 3.1.2 e 3.1.3.

Antes do dimensionamento das estruturas, verificou-se a disponibilidade de espaço para a implantação de cada uma. Tal determinação foi dada por meio da análise da planta baixa, com a utilização do software AutoCAD. Para a inserção das trincheiras de infiltração, priorizou-se as áreas permeáveis (cobertura vegetal), visto que, no intuito de evitar a compactação do material permeável, deve-se impedir o transporte sobre estas.

Para os pavimentos permeáveis, considerou como área possível de instalação as vias de acesso, as passarelas, as ciclovias e as áreas destinadas aos estacionamentos. Em termos de material de revestimento, as vias receberam revestimento concreto permeável, as ciclovias e passarelas blocos intertravados e os estacionamento piso-grama.

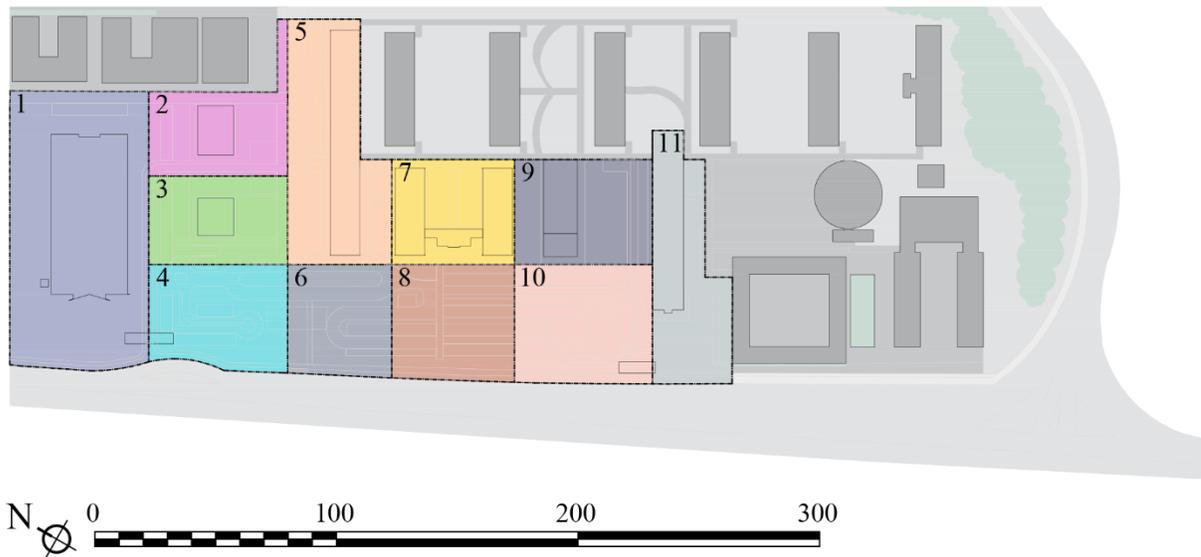
3.4.1 Cenário 3a- TRIN

Para o cenário TRIN, a princípio foram identificados locais possíveis para implantação das trincheiras, observando as larguras e comprimentos máximos possíveis. Para o estudo, foi

considerada a largura mínima de 0,60m (medida mínima adotada respeitando a acessibilidade de projeto) e a largura máxima de 2,00 m (máxima recomendada).

Além desses dados verificou-se a profundidade máxima desejável para o tipo de solo, determinando que a profundidade máxima pode variar entre 1,50 a 3,00 metros, e os tempos de esvaziamento variando de 24h a 48h, respectivamente (TOMAZ, 2016). Neste estudo adotou-se o tempo de esvaziamento igual a 24h e conseqüentemente a profundidade de 1,50m como a ideal. A partir destas considerações, foi possível simular o comportamento hidrológico das trincheiras, suas dimensões (altura, largura e comprimento) e a faixa de grama que atuaria como filtro de sedimentos finos e resíduos provenientes das enxurradas. Em seguida, foram realizadas quatro simulações variando as dimensões das estruturas (largura e profundidade), seguindo uma subdivisão da bacia em estudo em 11 áreas (Figura 12), seguindo o sentido do escoamento gerado nas vias, estacionamentos, ciclovias e passarelas. A primeira fixou a largura e a profundidade em 1,00 m. A segunda fixou a profundidade em 1,50m e o comprimento em 1,50m. A terceira adotou a profundidade igual a 1,50m e a largura igual a 1,00m. E a última simulação considerou a profundidade e largura iguais a 1,50m. Tais simulações serviram para verificar a área de drenagem para cada sub-bacia com as medidas pré-fixadas.

Figura 12 Divisão da área de estudo em sub-bacias.

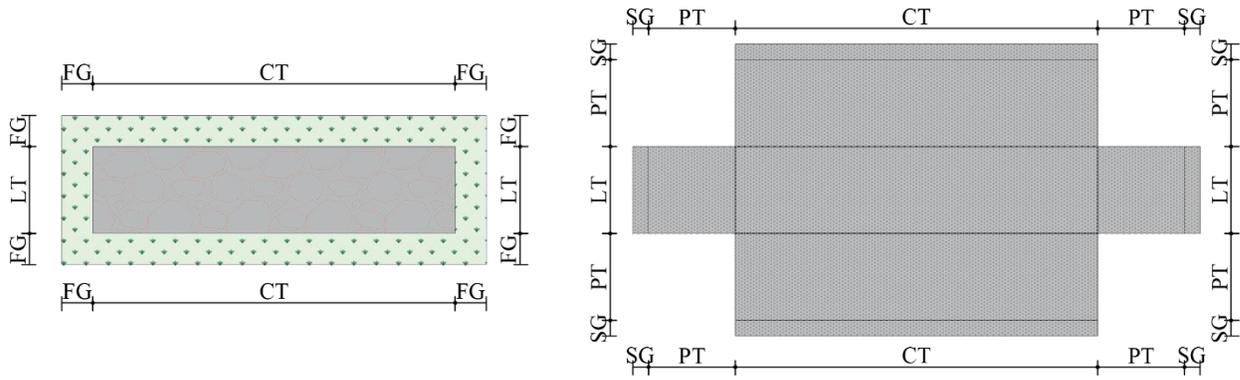


ESCALA 1:3000

Fonte: Autora, 2018.

Para o cálculo dos materiais, as seguintes expressões foram adotadas, seguindo a planificação da estrutura conforme a Figura 13:

Figura 13 Planificação da trincheira de infiltração para o filtro e o geotêxtil.



Fonte: Autora, 2018.

- Para o filtro de grama:

$$filtro = \{2 * FG(2FG + LT)\} + \{2 * (CT * FG)\} [m^2] \quad \text{Equação 20}$$

Onde: FG: Filtro de Grama (m); LT: Largura da Trincheira(m); CT: Comprimento da trincheira(m).

- Para o geotêxtil:

$$geotêxtil = (2FG + 2PT + CT) * (2FG + 2PT + LT) [m^2] \quad \text{Equação 21}$$

Onde: FG: Filtro de Geotêxtil(m); LT: Largura da Trincheira(m); CT: Comprimento da trincheira(m); PT: Profundidade da trincheira(m).

3.4.2 Cenário 3b- PAV

Para o cenário PAV, a princípio, foi calculada a profundidade do pavimento para compensar as áreas impermeáveis, verificando o tempo de esvaziamento da estrutura. Ressaltando que, KORTKAMP *et al.*(2016) sugerem que a altura do pavimento permeável esteja próxima a 0,35m.

Para o cálculo da quantidade de material necessário, utilizou-se, o software AutoCAD para a determinação da área das superfícies e do perímetro.

3.4.3 Cenário 3c – TRIN+PAV

O último cenário foi proposto após a simulação dos cenários 3a e 3b, onde fatores como a limitação de área dos dispositivos, profundidade máxima e tempo de esvaziamento foram observadas como insuficientes para atender a toda a área de estudo. Devido a tais limitações,

visando aumentar a eficiência do dimensionamento, foi estudada a associação dos dois dispositivos aplicada ao *layout* ajustado.

Para este cenário o escoamento gerado nas áreas referentes às calçadas e as edificações foi destinado às trincheiras de infiltração. E o escoamento gerado nas áreas de ciclovias, passarelas, estacionamentos e vias de acesso, foi destinado aos pavimentos permeáveis, ou seja a área de pavimento permeável, neste caso, é igual a área da base do pavimento.

Após a determinação das dimensões e posicionamento, bem como os dados hidrológicos de cada cenário, procedeu-se com a composição de custos para os cenários, utilizando o método de custo de vida útil, descrito no referencial teórico.

3.5 Composição de Custos

3.5.1 Custos para o cenário DREN

Nesta seção são apresentados os custos para a execução do cenário DREN.

Como já visto, o custo de construção é o valor mais expressivo da drenagem urbana sustentável e as demais parcelas podem ser expressas em termos de porcentagem do custo de construção.

3.5.1.1 Custo do terreno

Como a área de inserção das medidas compensatórias são áreas que não vão perder funções, nem é necessária a aquisição de novas terras e esta parcela do orçamento não foi incluída.

3.5.1.2 Custos de planejamento, projeto e licenças

Geralmente, esta etapa corresponde a 30% do valor de construção (BALLARD *et al.*, 2015).

3.5.1.3 Custo de construção

O custo de construção refere-se ao detalhamento dos custos dos materiais e serviços utilizados na execução dos dispositivos. Os valores foram estabelecidos com base no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que oferece critérios de referências para elaboração de orçamentos de obras e serviços de engenharia (SINAPI, 2018).

3.5.1.4 Operação e manutenção custos

Os custos de manutenção podem ser acrescidos conforme apresentado na Tabela 3, a porcentagem refere-se ao valor de construção. Para o estudo adotou-se a porcentagem igual a 5% para as duas estruturas.

Tabela 3 Valor de manutenção das estruturas de acordo com os valores de construção.

Componente	Custo de manutenção
Pavimento Permeável	0,5%-10%
Trincheira de Infiltração	5%-10%

Fonte: Adaptado de BALLARD *et al.*, 2015

3.5.1.5 Operação de desativação

Os custos de desativação referem-se à reabilitação ou à desativação do sistema, tais custos giram em torno de 35% a 42% do valor da construção (KEATING *et al.*, 2015). Para este estudo considerou-se 35%.

Além dos custos citados, deve-se considerar os custos evitados e os custos de oportunidade. Para a quantificação dessas parcelas é necessária avaliação minuciosa, utilizando métodos específicos. Esta parcela não foi estudada nesta pesquisa.

3.6 Análise dos Benefícios

Existem diversos métodos para avaliar os benefícios obtidos com a implantação do sistema de drenagem sustentável. Entretanto, este estudo realizou uma avaliação qualitativa, cruzando as ponderações dos benefícios gerais com os benefícios esperados por cada estrutura, apresentados no referencial teórico.

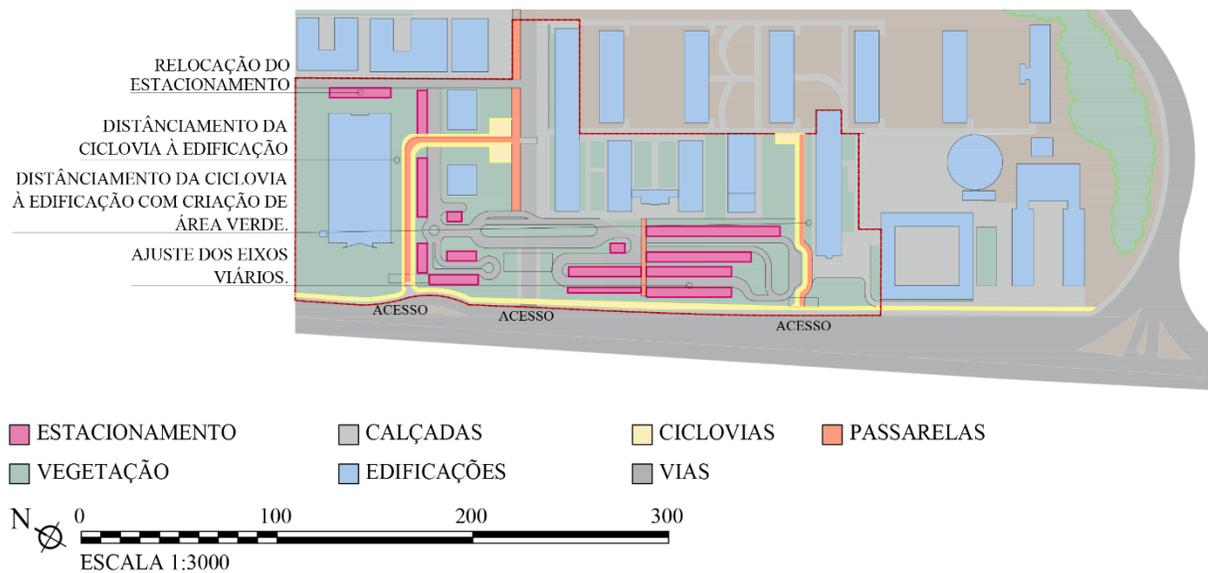
4 Resultados

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos com a execução da metodologia.

4.1 Ajuste do *Layout*

Considerando aspectos de acessibilidade para as passarelas, ciclovias e vias, bem como a centralização de eixos viários, foram feitos ajustes no *layout* proposto por OLIVEIRA (2017), adequando às condições de drenagem. O *layout* final encontra-se na Figura 14.

Figura 14 Proposta de adequação ao *layout* proposto por OLIVEIRA (2017), para a adequação aos requisitos de drenagem.



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de OLIVEIRA (2017).

A adaptação do *layout* possibilitou a inserção de estruturas de drenagem para controle do escoamento superficial gerado próximo as estruturas, com a redução de riscos às estruturas das edificações. Além disso, os ajustes não modificam o projeto inicial, quanto aos objetivos e a disposição, enfatizando a importância da interdisciplinaridade entre profissionais durante a fase do projeto, onde é possível atender aos requisitos pertinentes a cada setor.

4.2 Uso e ocupação do solo

4.2.1 Cenário Base

Atualmente a área é dividida em edifícios, calçadas, estacionamentos, vias de acesso, canteiros com vegetação e áreas com solos expostos. Os materiais que compõem as vias de acesso são em asfalto e paralelepípedos. Ainda se tem as calçadas de acesso em concreto. A partir do recorte da área de estudo é possível observar que cerca de 42% de sua área é destinada a vias de acesso e a estacionamentos, ou seja, além de representar uma porção considerável de área impermeável, também existe favorecimento ao uso do transporte individual motorizado, conferindo além do exposto, um problema de mobilidade urbana.

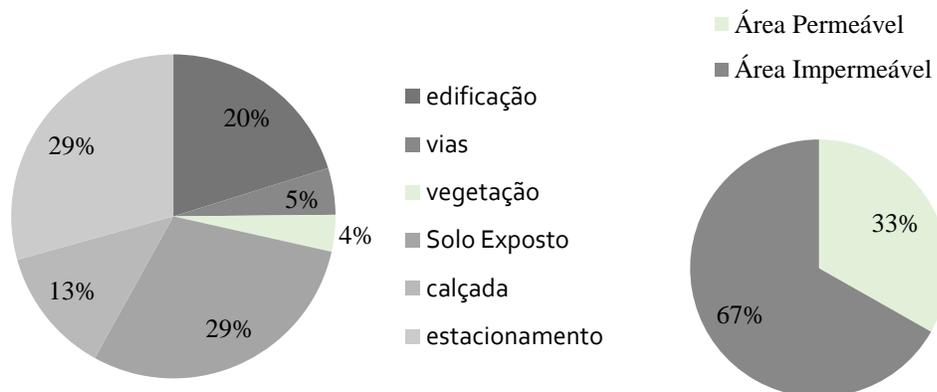
A Tabela 4 demonstra as áreas para cada tipologia e o Gráfico 1 apresenta as respectivas porcentagens.

Tabela 4 Tipologias do uso e ocupação de solo para a área de estudo sem intervenções no layout-Cenário BASE

Cenário BASE	Edificação	Vias	Vegetação	Solo exposto	Calçada	Estacionamento
Áreas (m ²)	6330,40	1464,50	1150,00	9270,00	3962,00	9200,00

Fonte: Autora, 2018.

Gráfico 1 Porcentagem por tipologia de uso e ocupação de solo verificada no cenário sem intervenção arquitetônica -Cenário BASE



Fonte: Autora, 2018.

4.2.2 Cenário URB

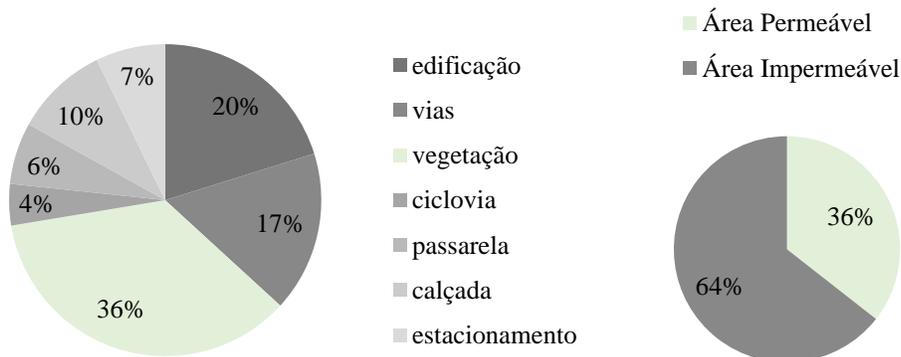
De modo análogo ao cenário 1, todas as áreas foram verificadas e relacionadas entre permeáveis e impermeáveis. A Tabela 5 e o Gráfico 2 apresentam tais relações.

Tabela 5 Tipologias do uso e ocupação de solo para a área de estudo com intervenções no layout- Cenário URB

Cenário ARQ	Edificação	Vias	Vegetação	Ciclovias	Passarela	Calçada	Estacionamento
Áreas (m ²)	6330,40	5219,20	11164,10	1345,90	2006,85	3044,35	2266,10

Fonte: Autora, 2018.

Gráfico 2 Porcentagem por tipologia de uso e ocupação de solo verificada no cenário com intervenção arquitetônica- Cenário URB



Fonte: Autora, 2018.

4.2.3 Cenário DREN

A relação de áreas encontra-se na Tabela 6.

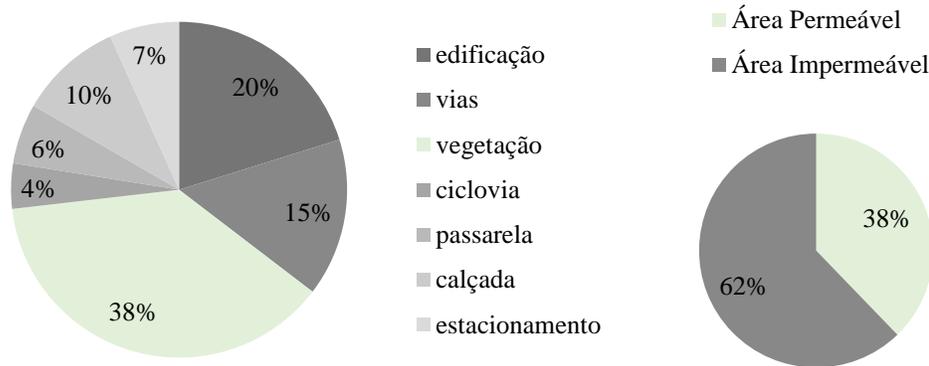
Tabela 6 Tipologias do uso e ocupação de solo para o cenário DREN- com intervenção arquitetônica e adequação para as medidas de drenagem.

Cenário DREN	Edificação	Vias	Vegetação	Ciclovias	Passarela	Calçada	Estacionamento
Áreas (m ²)	6330,40	4773,70	11855,80	1365,75	1823,80	3119,55	2107,90

Fonte: Autora, 2018.

As porcentagens de área permeável e impermeável podem ser verificadas no Gráfico 3.

Gráfico 3 Porcentagem por tipologia de uso e ocupação de solo verificada no cenário DREN- com intervenção arquitetônica e adequação para as medidas de drenagem- Cenário DREN.



Fonte: Autora, 2018.

4.3 Coeficiente de escoamento

Utilizando os dados dos tipos uso de solo e respectivas áreas para cada cenário, as médias ponderadas do coeficiente de escoamento foram determinadas. A **Tabela 7** apresenta os valores para cada cenário.

Tabela 7 Coeficientes de escoamento para os cenários em estudo.

Cenário	TRIN+PAV	PAV	TRIN	URB	BASE
CE	0,36	0,41	0,43	0,61	0,75

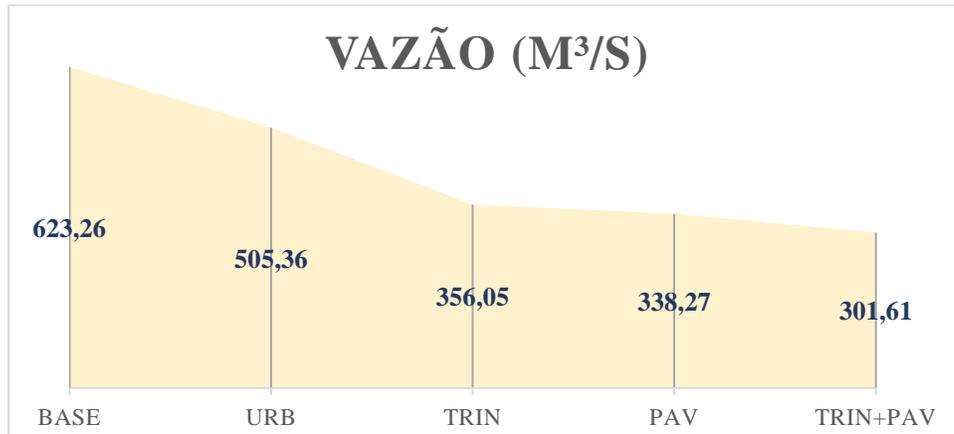
Fonte: Autora, 2018.

4.4 Determinação da vazão de pico

Para a determinação da vazão de pico, utilizando o método racional, identificou-se que o maior comprimento na bacia hidrográfica em estudo é igual a 276 metros. Desse modo, a declividade do local é igual a 0,36%. Com tais valores, foi determinado o tempo de concentração da bacia, como sendo igual a 10,73 minutos. Desse modo a intensidade de chuva é igual a 95,65mm/h.

Desse modo, com dados de intensidade de chuva, coeficiente de escoamento superficial, e área da bacia hidrográfica, foi possível determinar a vazão de pico para cada cenário. Os valores encontram-se descritos no **Gráfico 4**.

Gráfico 4 Vazão de projeto determinada utilizando o método racional.



Fonte: Autora, 2018.

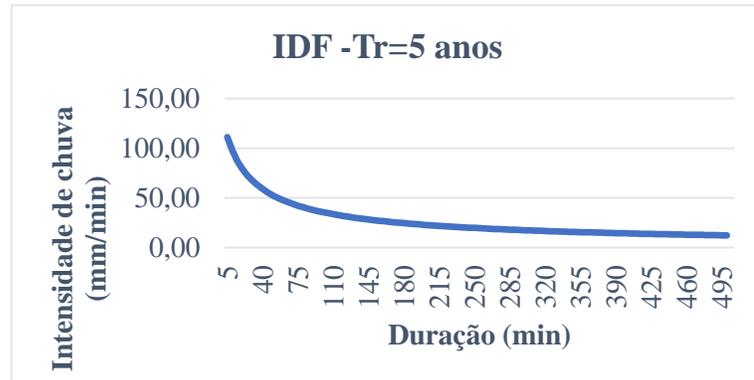
Analisando os valores de vazão de modo isolado, ou seja, desconsiderando as limitações encontradas em cada cenário, a princípio, a alteração das superfícies existentes já confere uma redução no coeficiente de escoamento, proporcionando uma redução na vazão de pico para o cenário URB. Em termos numéricos é observada uma redução de 19% em relação ao cenário BASE. Esta redução diz respeito à ampliação das áreas verdes e substituição dos revestimentos das vias e dos estacionamentos.

Para o cenário 3a, TRIN, identificou-se uma redução considerável na vazão de pico em relação ao cenário BASE, igual a 43%. E, embora as dimensões das trincheiras tenham sido limitadas, reduzindo a área de drenagem para cada uma das estruturas, em termos de área a utilização das trincheiras ocupa 3% da área total. Já em relação ao cenário 3b, PAV, a redução foi de 46%, apesar de mais eficiente que o cenário TRIN, a área destinada a infiltração corresponde a 50% da área impermeável.

Por fim, verifica-se que o cenário mais atrativo seria aquele que associa as duas técnicas compensatórias-cenário TRIN+PAV, correspondendo a uma redução de 52% em relação a vazão do cenário BASE. Entretanto, como a redução para os três cenários encontra-se numa faixa próxima, é necessário avaliar os dois cenários comparando outros parâmetros, por exemplo os custos e benefícios.

Para o dimensionamento das estruturas (trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis) foi utilizada a curva IDF para a região de João Pessoa, discretizando a duração de chuva em intervalos de 5 minutos, a curva está demonstrada no **Gráfico 5**.

Gráfico 5 Curva IDF para o município de João Pessoa com Tempo de retorno igual a 5 anos.

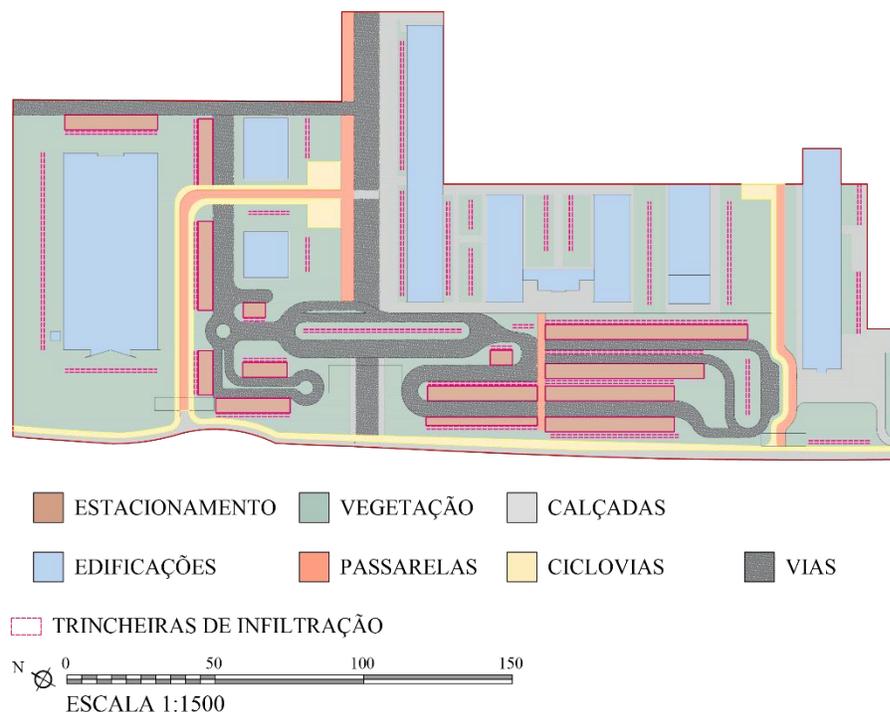


Fonte: Autora, 2018.

4.5 Disposição das estruturas

Tendo em vista que as trincheiras de infiltração devem ser localizadas em áreas adjacentes ao escoamento e suas dimensões dependem da área a ser drenada, após o ajuste do *layout* do cenário URB, os locais mais adequados para a inserção dessas estruturas foram determinados, sendo computado o número de trincheiras por sub-bacias e o comprimento máximo disponível. A Figura 15 apresenta a disposição e o comprimento máximo das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN.

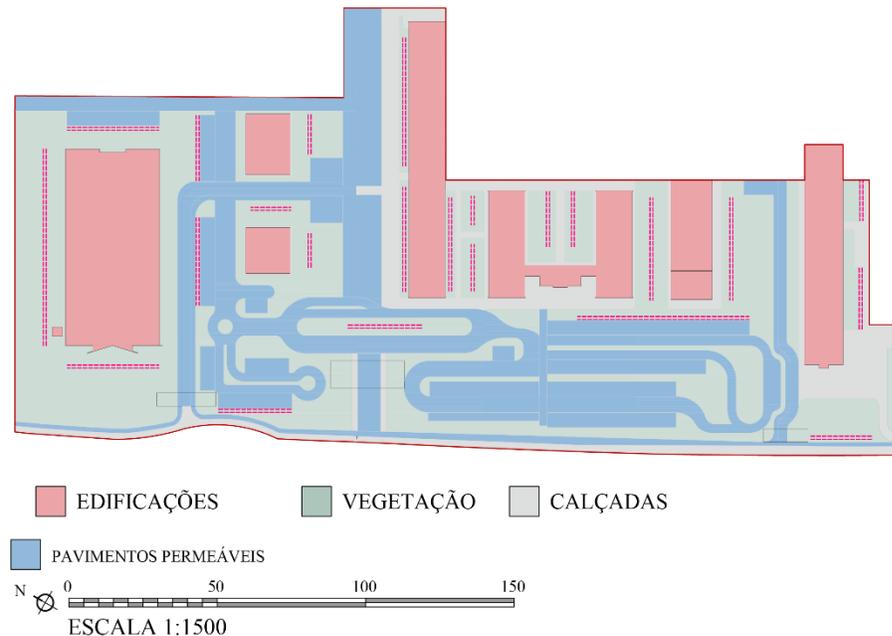
Figura 15 Disposição das trincheiras para o *layout* final.



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de OLIVEIRA (2017).

Para o cenário PAV, as estruturas foram dispostas nas áreas destinadas aos estacionamentos, às vias, às passarelas e às ciclovias. A disposição da pavimentação permeável pode ser verificada na Figura 16.

Figura 16 Áreas destinadas a pavimentação permeável.



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de OLIVEIRA (2017).

4.6 Dimensionamento das Estruturas

4.6.1 Cenário TRIN

4.6.1.1 Simulação inicial

Com os dados de área permeável e impermeável do cenário, e com a utilização do método da curva envelope, identificou-se que para que um cenário composto por trincheiras de infiltração, considerando apenas as seções impermeáveis como recomenda o método e, adotando o comprimento e a profundidade constantes, iguais a um metro. Seriam necessários **4500,00m** de comprimento de trincheira para infiltrar o escoamento gerado em um evento chuvoso. Tal valor correspondendo, em área, a **15%** da área total. Logo, com tal comprimento, a inserção de trincheiras com largura e profundidades iguais a um metro seria inviável.

Em seguida, determinou-se as profundidades e as larguras, de acordo com o comprimento disponível para cada trincheira, de acordo com a divisão de sub-bacias. A Tabela 8 apresenta os

comprimentos disponíveis, evidenciando que é possível inserir diversas trincheiras por sub-bacia, e as dimensões requeridas para drenagem da área total da sub-bacia.

Tabela 8 Limites de comprimento para cada trincheira para cada sub-bacia.

Sub-bacia	C1 (m)	C2(m)	C3(m)	C4(m)	C5(m)
1	32,00	66,00	32,00	-	-
2	21,00	13,00	-	-	-
3	29,00	13,00	11,00	-	-
4	14,00	14,00	24,00	6,00	-
5	43,00	35,00	31,00	9,00	-
6	53,00	36,00	36,00	-	-
7	18,00	18,00	-	-	-
8	6,00	6,00	52,00	42,00	49,00
9	34,00	34,00	-	-	-
10	18,00	67,00	-	-	-
11	13,00	20,00	20,00	-	-

Onde: C1;C2;C3;4;C5 indicam os comprimentos disponíveis para cada trincheira, em metros.

Fonte: Autora, 2018.

4.6.1.2 Simulação para a determinação das profundidades e larguras necessárias

A partir dos dados de comprimentos disponíveis, as dimensões das trincheiras foram determinadas. Observando os valores limites para os dispositivos, ou seja, 2,00m para a profundidade e 2,00 metros para a largura. A Tabela 9 indica para cada sub-bacia a profundidade necessária para que toda a área da sub-bacia seja escoada para as trincheiras de infiltração.

Tabela 9 Largura e profundidade necessária para as trincheiras de infiltração

Sub-bacia	L(m)	P(m)
1	2,00	2,11
2	2,00	4,00
3	2,00	3,63
4	2,00	2,17
5	2,00	2,23
6	1,50	1,05
7	2,00	4,40
8	1,19	1,50
9	2,00	1,56
10	2,00	1,74
11	2,00	3,40

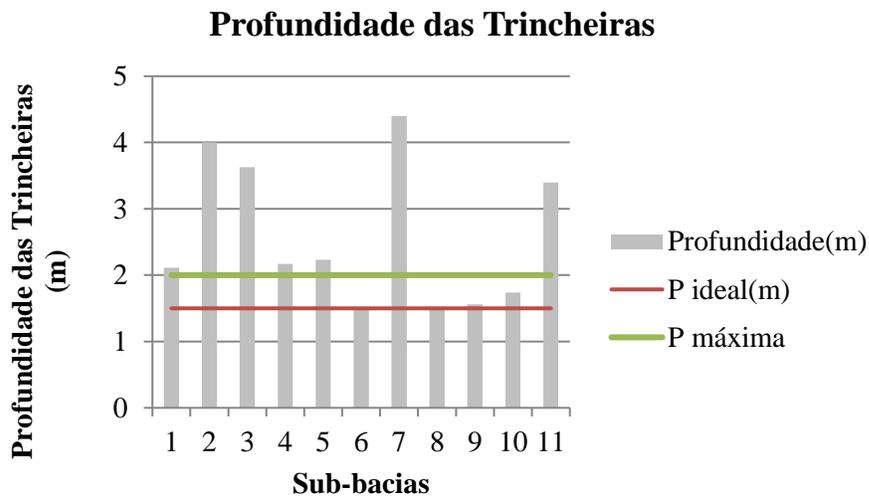
Onde: L indica a largura e P refere-se à profundidade.

Fonte: Autora, 2018.

A partir dos dados expostos, observa-se que, mesmo as trincheiras possibilitando a infiltração do escoamento de forma desejável, verificou-se que em algumas sub-bacias as profundidades requeridas ficaram acima de 2,00 metros, além disso a largura necessária na maioria das sub-bacias foi igual à largura máxima.

O Gráfico 6 apresenta uma comparação entre a profundidade necessária para drenar todo escoamento superficial proveniente da sub-bacia, a profundidade máxima permitida para a execução das trincheiras (2,00m) e a profundidade adotada como ideal neste estudo (1,50m).

Gráfico 6 Profundidades das trincheiras comparadas à profundidade ideal e à profundidade máxima



Fonte: Autora, 2018

Neste cenário as profundidades requeridas para as sub-bacias 1, 4, 5, encontram-se acima da profundidade máxima. Para as sub-bacias 2, 3, 7 e 11, as profundidades apresentam valores inviáveis. No caso, para um dimensionamento satisfatório, apenas as sub-bacias 6, 8, 9 e 10 apresentaram as dimensões adequadas.

4.6.1.3 Simulação variando a área de drenagem

Para estabelecer um dimensionamento satisfatório, seria necessário redimensionar as estruturas seja variando a largura seja reduzindo a área de drenagem destinada aos dispositivos. Dessa forma, quatro simulações foram realizadas, as simulações foram descritas na metodologia. Com isto foi possível determinar qual área da sub-bacia seria atendida pelas respectivas trincheiras de infiltração e verificar a porcentagem da área atendida pelas trincheiras de infiltração, comparada com a área total da sub-bacia.

A Tabela 10 indica os comprimentos, as áreas de drenagem atendidas por cada trincheira de infiltração e a porcentagem da área de drenagem de acordo com área total da sub-bacia para cada simulação.

Tabela 10 Áreas de contribuições para as trincheiras com dimensões pré-fixadas.

Sub-bacia	Área Total da Sub-bacia (m ²)	Simulação 01		Simulação 02		Simulação 03		Simulação 04	
		P=1,00m		P=1,00m		P=1,50m		P=1,50m	
		L=1,00m		L=1,50m		L=1,00m		L=1,50m	
		Área drenada (m ²)	%						
1	2976,45	877,81	29	1158,69	39	1316,71	44	1738,03	58
2	1567,20	231,19	15	306,05	20	346,77	22	459,08	29
3	1184,90	359,17	30	474,81	40	538,75	45	712,22	60
4	1378,60	392,84	28	519,22	38	589,26	43	778,83	56
5	2866,40	796,98	28	1052,11	37	1578,17	55	1195,47	42
6	1302,85	844,13	65	1114,28	86	-	-	-	-
7	1744,80	244,66	14	366,98	21	366,98	21	485,73	28
8	1761,15	1046,20	59	1380,72	78	-	-	-	-
9	1154,95	460,20	40	608,04	53	690,30	60	912,06	79
10	1612,10	574,71	36	759,02	47	862,06	53	1138,53	71
11	1971,70	359,17	18	474,81	24	538,75	27	712,22	36

Fonte: Autora, 2018.

Para a primeira simulação, a porcentagem mais significativa da área atendida pelos dispositivos é igual a 65%, referente a sub-bacia 6, seguida de 59% para a sub-bacia 8. Os demais resultados encontram-se abaixo de 40%. Na segunda simulação, tem-se um aumento na porcentagem de área atendida em todas as sub-bacias. Porém, exceto para as sub-bacias 6, 8, 9 e 10, menos de 40% da área total da sub-bacia é atendida pelas estruturas. Na terceira simulação, observa-se que para as sub-bacias 6 e 8, a profundidade igual a 1,50m e largura igual a 1,00m supera as necessidades requeridas pelas duas sub-bacias. Verifica-se também, que para as sub-bacias 2, 7 e 11 a redução do escoamento superficial ocorre em cerca de 25% da área total. Por fim, na última simulação, verifica-se que fixada a profundidade e a largura a igual a 1,50m, a porcentagem de área cujo escoamento pode ser destinado às trincheiras de infiltração, para as sub-bacias 1, 3, 4, 9 e 10, é igual a 58%, 60%, 79% e 71%, respectivamente, sendo estes valores os mais significativos.

Além disso, ao analisarmos tais simulações é possível identificar como a largura e a profundidade interferem na quantidade de volume drenado, onde de acordo com os valores obtidos

nas simulações 2 e 3, constata-se que ao aumentar a profundidade obtém-se um melhor desempenho, ou seja um volume maior é drenado para a trincheira de infiltração, satisfazendo uma área maior de drenagem.

Desse modo, fixou-se como profundidade máxima o valor de 1,50m e largura máxima de 1,00m. Com isto, verificou-se a área de atuação dos dispositivos, determinando os quantitativos de material necessários para a execução das mesmas, bem como verificou-se os dados hidrológicos para cada sub-bacia. A **Tabela 11** apresenta as dimensões para as trincheiras de cada sub-bacia.

Tabela 11 Dimensões das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN.

Sub-Bacia	nº de trincheiras	C (m)	L (m)	P (m)	Área (m ²)
1	3	130,00	1	1,50	130,00
2	2	34,00	1,00	1,50	34,00
3	3	53,00	1,00	1,50	53,00
4	3	58,00	1,00	1,50	58,00
5	2	118,00	1,00	1,50	118,00
6	3	125,00	1,05	1,50	131,25
7	2	36,00	1,00	1,50	36,00
8	3	155,00	1,19	1,50	184,45
9	2	68,00	1,00	1,50	68,00
10	2	85,00	1,00	1,50	85,00
11	3	53,00	1,00	1,50	53,00
Totais	28	915,00	11,24	16,50	950,70

Onde: C= o comprimento é o somatório dos comprimentos disponíveis por sub-bacias; L= largura das trincheiras; P= profundidade das trincheiras; Área= corresponde a área superficial das trincheiras de infiltração.

Fonte: Autora, 2018.

Para as sub-bacias 6 e 8 as larguras foram ajustadas de modo que as trincheiras drenassem o escoamento superficial gerado por toda a área da sub-bacia.

Ainda com os dados das dimensões das trincheiras e características da porosidade do material granular (40%), foi possível determinar os dados hidrológicos referentes as trincheiras a serem implantadas. Tais dados foram relacionados na **Tabela 12**.

Tabela 12 Dados hidrológicos das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN.

Sub-bacia	V útil (m ³)	V água (m ³)	V trincheira (m ³)	T crítico (h)	T esvaziamento (h)
1	195,00	78,00	195,00	4,25	12,00
2	51,00	20,40	51,00	4,17	12,00
3	79,50	31,80	79,50	4,25	12,00
4	87,00	34,80	87,00	4,25	12,00
5	266,01	106,40	177,00	6,00	12,00
6	195,56	78,22	196,88	4,42	12,00
7	54,00	21,60	54,00	4,17	12,00
8	275,49	110,19	276,68	4,92	12,00
9	102,00	40,80	102,00	4,25	12,00
10	127,50	51,00	127,50	4,25	12,00
11	79,50	31,80	79,50	4,25	12,00

Fonte: Autora, 2018.

Para a execução das trincheiras de infiltração foi feito o levantamento da quantidade de material necessário, de acordo com as características das estruturas, o quantitativo está disposto na

Tabela 13.

Tabela 13 Quantitativo de material necessário para a execução das trincheiras de infiltração do cenário TRIN.

Sub-Bacia	Gramma (m ²)	Preenchimento (m ³)	Geotêxtil(m ²)	Demolição (m ²)
1	78,96	195,00	614,56	130
2	21,36	51,00	172,96	34,00
3	0,00	79,50	260,36	53,00
4	35,76	87,00	283,36	58,00
5	71,76	177,00	559,36	118,00
6	75,99	196,88	597,99	131,25
7	22,56	54,00	182,16	36,00
8	94,07	276,68	759,69	184,45
9	41,76	102,00	329,36	68,00
10	51,96	127,50	407,56	85,00
11	32,76	79,50	260,36	53,00
Totais	526,94	1426,05	4427,72	950,70

Fonte: Autora, 2018.

Após a determinação das dimensões das trincheiras foi possível verificar relação entre a área drenada pela sub-bacia para as trincheiras de infiltração e a área total impermeável por sub-bacia. A relação está disposta na **Tabela 14.**

Tabela 14 Área drenada pelas trincheiras e área total de drenagem.

Sub-Bacia	Área drenada pelas trincheiras (m ²)	Área impermeável da sub-bacia (m ²)	Área Drenada/Área Impermeável (%)
1	1316,71	2976,45	44
2	346,77	1567,20	22
3	538,75	1184,90	45
4	589,26	1378,60	43
5	1578,17	2866,40	55
6	1302,85	1302,85	100
7	366,98	1744,80	21
8	1761,15	1761,15	100
9	690,30	1154,95	60
10	862,06	1612,10	53
11	538,75	1971,70	27
Totais	9891,76	19521,1	52%

Com as dimensões fixadas, observa-se que a área drenada pelas trincheiras é equivalente a 9891,76 m², que corresponde a 52% da área impermeável. Como a área total é igual a 31376,9m², a área atendida pelas trincheiras de infiltração é igual a 32% da área total.

Dessa forma, para o cenário TRIN, a inserção deste tipo de medida de controle, isoladamente, não foi suficiente para controlar o escoamento gerado por toda a área impermeável da bacia em estudo. Devido à limitação da área para locação destes dispositivos, onde a inserção resultaria em altas profundidades. Para a configuração final, a área ocupada pelas trincheiras corresponde a 3% da área total.

4.6.2 Cenário PAV

4.6.2.1 Simulação inicial

Determinadas as áreas destinadas à pavimentação permeável, utilizando o método da curva envelope, verificou-se que para compensar a área impermeável seria necessário um reservatório com profundidade igual a 0,53m e tempo de esvaziamento igual a 86 horas. Porém, para que o pavimento tivesse sua eficiência garantida, seria necessário que o escoamento de algumas áreas fosse redirecionado para as áreas permeáveis dos pavimentos.

4.6.2.2 Simulação por sub-bacia

Considerando a divisão das sub-bacias, definida no cenário TRIN, verificou-se as profundidades e o tempo de esvaziamento dos pavimentos de acordo com a área da sub-bacia. A Tabela 15 apresenta as profundidades necessárias para cada sub-bacia, bem como a área de drenagem e a da base do pavimento e o tempo de esvaziamento do dispositivo.

Tabela 15 Dimensionamento dos pavimentos permeáveis para o cenário PAV.

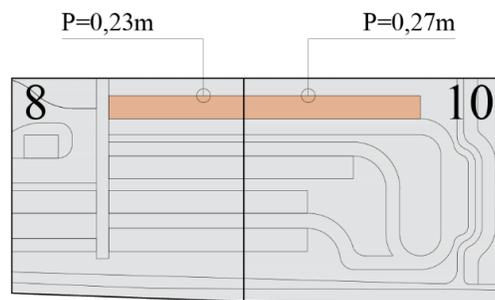
Sub-bacia	Ad(m ²)	Ab(m ²)	h (m)	tesv (h)
1	2976,45	731,30	1,48	240,88
2	1567,20	1223,20	0,30	48,45
3	1184,90	920,90	0,30	48,74
4	1378,60	1208,60	0,25	41,17
5	2866,40	805,10	1,23	200,24
6	1302,85	1145,00	0,25	41,03
7	1744,80	0,00	-	-
8	1761,15	1644,15	0,23	37,69
9	1154,95	363,55	1,05	171,06
10	1612,10	1365,10	0,27	43,22
11	1971,70	664,25	0,96	155,73

Fonte: Autora, 2018.

Ressalta-se que na sub-bacia 7 não existem áreas disponíveis para inserção de pavimento permeável. Observa-se que para as sub-bacias 1, 5, 9 e 11 as alturas requeridas não são satisfatórias.

Ao dividirmos a área em sub-bacias, é possível que duas áreas adjacentes de pavimentação necessitem de duas profundidades distintas de reservatório. Tal fato, pode ser observado nas profundidades das sub-bacias 8 e 10 iguais a 0,23m e 0,27m, respectivamente. A Figura 17 exemplifica a situação.

Figura 17 Profundidade do pavimento permeável referente às sub-bacias 8 e 10.



Fonte: Autora, 2018.

Dessa forma, a divisão em sub-bacias não foi satisfatória. Então, toda a área destinada ao pavimento permeável foi considerada como uma estrutura única, fixou-se a profundidade igual a 0,35m, determinando a área impermeável atendida pelo pavimento permeável.

4.6.2.3 Simulação variando a área de drenagem

Após a simulação, com a altura do reservatório igual 0,35m, verificou-se que a área atendida é igual a 14.467,54 m², equivalente a 74% da área total impermeável. As características para o cenário encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 Propriedades dos pavimentos permeáveis para o cenário PAV.

Área de Drenagem(m ²)	Área da Base (m ²)	Profundidade (m)	Perímetro (m)
14467,54	10071,15	0,35	4644,45

Fonte: Autora, 2018.

Desse modo, a área ocupada pelo pavimento permeável, drena o escoamento superficial gerado em 46% da área total em estudo, salientando que a área superficial do pavimento permeável corresponde a 32% dessa área.

A partir disto, os quantitativos de materiais foram determinados. O material necessário para execução do pavimento encontra-se na Tabela 17.

Tabela 17 Quantitativo de materiais necessários para a execução dos pavimentos permeáveis.

Superfície	Revestimento (m ²)	Geotêxtil (m ²)	Preenchimento (m ³)
Vias	4773,70	10329,42	3343,31
Ciclovias	1365,75	3292,57	956,52
Passarelas	1823,80	3832,73	1277,32
Estacionamento	2107,90	4639,25	1476,29
Total	10071,15	22093,97	7053,44

Fonte: Autora, 2018.

Tendo em vista, os dados de área atendida pelo pavimento permeável e o quantitativo de material de preenchimento necessário para a execução do cenário PAV, comparado estes valores com os valores obtidos para o cenário TRIN, é possível constatar que o cenário PAV além de não atender a toda área de estudo, também requer uma quantidade maior de material para execução.

4.6.3 Cenário TRIN+PAV

O cenário TRIN+PAV contou com a inserção de trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis. Para a determinação das características dos pavimentos, não foi levado em consideração a divisão de sub-bacias. No caso, o cálculo foi realizado separadamente para as vias

de acesso, para as passarelas, para as ciclovias e para os estacionamentos. Observa-se que, como a área de drenagem é igual a área da base do pavimento e como serão instalados em áreas com capacidade de infiltração análogas, às profundidades e o tempo de esvaziamento se igualam.

Desse modo, a profundidade do pavimento permeável ficou igual a 0,21m e o tempo de esvaziamento igual a 34h. A Tabela 18 indica a área de drenagem, o perímetro e o quantitativo de materiais para a profundidade determinada.

Tabela 18 Características dos pavimentos permeáveis para o cenário TRIN+PAV

Código	Ad (m ²)	Perímetro (m)	Preenchimento (m ³)	Remoção de Pavimento (m ²)	Geotêxtil (m ²)	Demolição (m ²)
Vias	4773,70	1861,00	1006,11	4773,70	5165,93	1006,11
Ciclovias	1365,75	1335,20	287,85	1365,75	1647,16	287,85
Passarelas	1823,80	440,55	384,39	1823,80	1916,65	384,39
Estacionamento	2107,90	1007,70	444,26	2107,90	2320,28	444,26
Total	10071,15	4644,45	2122,61	10071,15	11050,02	2122,61

Fonte: Autora, 2018.

Os escoamentos gerados pelas áreas referentes às edificações e calçadas foram destinados às trincheiras de infiltração, respeitando a divisão das sub-bacias. A **Tabela 19** indica as dimensões para este cenário, fixando a largura e a profundidade semelhante ao cenário TRIN, exceto quando necessário medidas menores.

Tabela 19 Dimensionamento das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV

Sub-Bacia	nº de trincheiras	C (m)	L (m)	P (m)	Área (m ²)
1	3	130,00	1,00	1,50	130,00
2	2	34,00	1,00	1,50	34,00
3	3	53,00	0,90	0,80	47,70
4	3	25,00	1,00	1,00	25,00
5	2	118,00	1,00	1,50	118,00
6	3	23,50	1,00	1,00	23,50
7	2	36,00	1,00	1,50	36,00
8	3	12,00	1,00	1,50	12,00
9	2	68,00	1,23	1,50	83,64
10	2	37,00	1,00	1,00	37,00
11	3	53,00	1,00	1,50	53,00
Totais	28	589,50	11,13	14,30	599,84

Onde: C= o comprimento é o somatório dos comprimentos disponíveis por sub-bacias; L= largura das trincheiras; P= profundidade das trincheiras; Área= corresponde a área superficial das trincheiras de infiltração.

Fonte: Autora, 2018.

De modo análogo ao cenário TRIN, foram determinadas as características hidrológicas das trincheiras para este cenário. A **Tabela 20** apresenta os dados hidrológicos.

Tabela 20 Dados hidrológicos para as trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV

Sub-bacia	V útil (m ³)	V água (m ³)	V trincheira (m ³)	T crítico (h)	T esvaziamento (h)
1	195,00	78,00	195,00	4,25	12,00
2	50,39	20,16	51,00	4,17	12,00
3	37,41	14,96	38,16	3,83	6,40
4	24,88	9,95	25,00	4,17	8,00
5	177,00	70,80	177,00	4,25	12,00
6	22,94	9,17	23,50	4,08	8,00
7	54,00	21,60	54,00	4,17	12,00
8	16,41	6,57	18,00	3,75	12,00
10	36,04	14,42	37,00	4,08	8,00
11	79,50	31,80	79,50	4,25	12,00

Fonte: Autora, 2018.

Para o cenário TRIN+PAV, o quantitativo de material necessário para a execução das trincheiras encontra-se na **Tabela 21**.

Tabela 21 Quantitativo de material para as trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV

Sub-Bacia	Grama (m ²)	Preenchimento (m ³)	Geotêxtil(m ²)	Demolição (m ²)
1	78,96	195,00	614,56	130,00
2	21,36	51,00	172,96	34,00
3	32,70	38,16	171,12	47,70
4	15,96	25,00	99,36	25,00
5	71,76	177,00	559,36	118,00
6	15,06	23,50	93,96	23,50
7	22,56	54,00	182,16	36,00
8	8,16	18,00	71,76	12,00
9	41,90	125,46	345,83	83,64
10	23,16	37,00	142,56	37,00
11	32,76	79,50	260,36	53,00
Totais	364,34	823,62	2713,99	599,84

Fonte: Autora, 2018.

Após o dimensionamento das trincheiras, a porcentagem da área atendida por estas estruturas foi analisada.

Observa-se na **Tabela 22** a área de drenagem atendida pelas estruturas, comparada com a área total impermeável correspondentes às edificações e calçadas.

Tabela 22 Área de drenagem das trincheiras de infiltração para o cenário TRIN+PAV

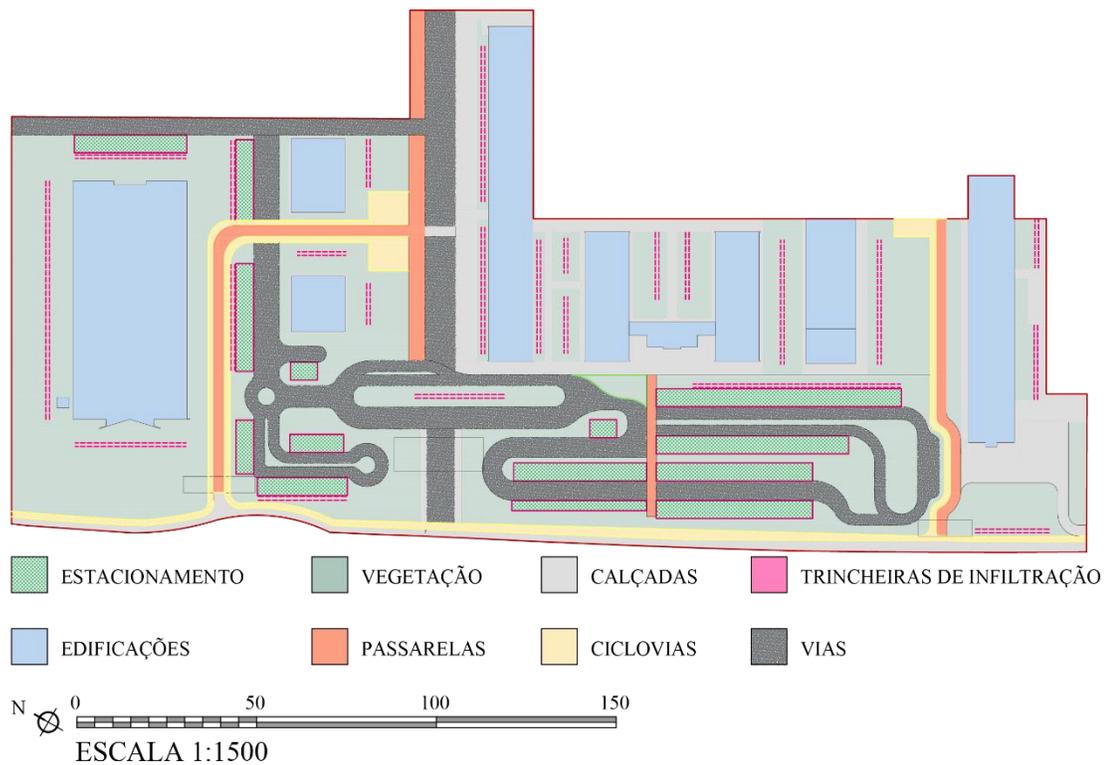
Sub-Bacia	Área drenada pelas trincheiras (m ²)	Área impermeável da sub-bacia (m ²)	Área Drenada/Área Impermeável (%)
1	1316,71	2245,15	59
2	344,00	344,00	100
3	264,00	264,00	100
4	170,00	170,00	100
5	1195,47	2061,30	58
6	157,85	157,85	100
7	366,98	1744,80	21
8	117,00	117,00	100
9	791,40	791,40	100
10	247,00	247,00	100
11	538,75	1307,45	41
Totais	5509,17	9449,95	80

Fonte: Autora, 2018.

Os valores apresentados indicam que 7 sub-bacias são atendidas em 100% pelas trincheiras de infiltração. Por outro lado, as sub-bacias 1, 5, 7 e 11 necessitam de estruturas maiores para que não ocorra excedentes de escoamento superficial. Por esta razão, as trincheiras de infiltração para este cenário absorvem 80% do volume gerado pela área das edificações e calçadas o que equivale a 18% da área total. A área superficial das trincheiras de infiltração neste cenário é equivalente a 2% da área total.

Com o dimensionamento dos dispositivos foi possível elaborar o *layout* final, representado na Figura 18.

Figura 18 Layout final para o cenário TRIN+PAV.



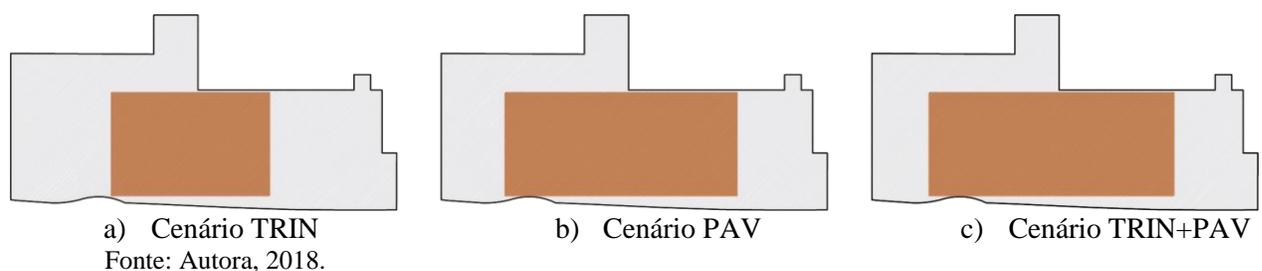
Fonte: Autora, 2018. Adaptado de OLIVEIRA (2017)

4.7 Análises

4.7.1 Área drenada

Com a simulação das estruturas de infiltração, variando a área de drenagem de cada trincheira de infiltração, observou-se a relação entre a área de atuação dos dispositivos, em cada cenário, em relação a área total em estudo. A **Figura 19** representa a porção correspondente ao escoamento gerado na área total que seria destinado aos dispositivos.

Figura 19 Área de abrangência das estruturas para os cenários TRIN, PAV e TRIN+PAV.



Em resumo, a área de abrangência das trincheiras de infiltração, no cenário TRIN, equivale a 52% da área impermeável ou 32% da área total. Para o cenário PAV, os pavimentos permeáveis recebem o escoamento gerado em 74% da área impermeável, ou de 46% da área total. Por fim, somando a área de abrangência das trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis do cenário TRIN+PAV, a área de drenagem corresponde a 80% da área impermeável ou 50% da área total.

4.7.2 Composição de custos

Para cada cenário foi feito o levantamento dos custos relativos a vida útil total das estruturas. Os valores para cada cenário encontram-se discriminados na **Tabela 23**. Ressaltando que o detalhamento dos custos referentes a cada cenário encontra-se nos apêndices 1,2 e 3.

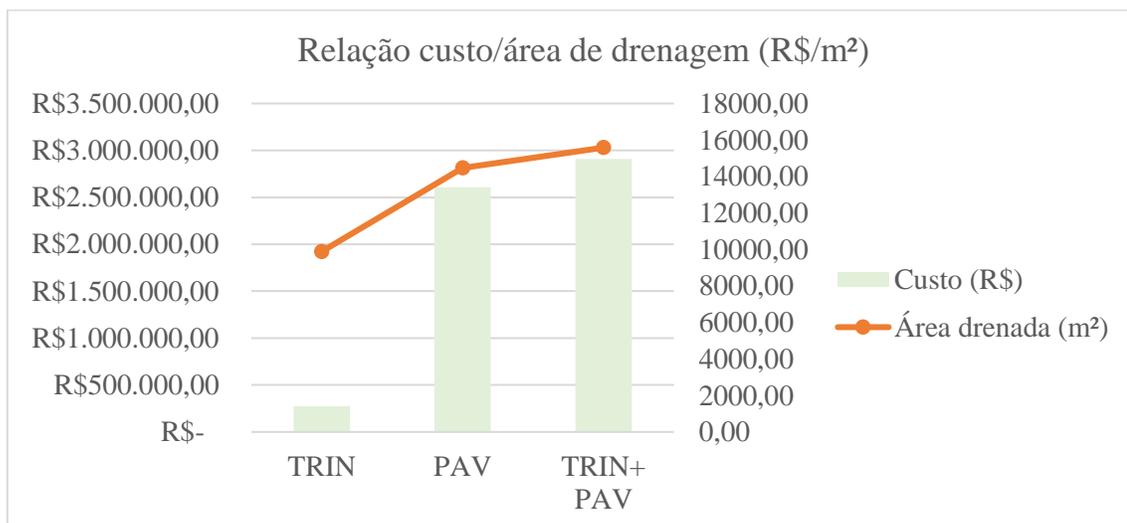
Tabela 23 Composição de custos para os cenários TRIN, PAV e TRIN+PAV

Cenário	TRIN	PAV	TRIN+ PAV
Custo (R\$)	272.571,4	2.607.947,00	2.908.438,00

Fonte: Autora, 2018.

Com dados de custos de execução e a área de influência dos dispositivos para cada cenário, ou seja, a área que tem todo o seu escoamento superficial conduzido para as estruturas de infiltração, verificou-se a relação entre os dois dados. O Gráfico 7 apresenta os custos de execução em reais e a área drenada para as estruturas em metro quadrado.

Gráfico 7 Custos de implantação e área drenada para as estruturas de infiltração para cada cenário.

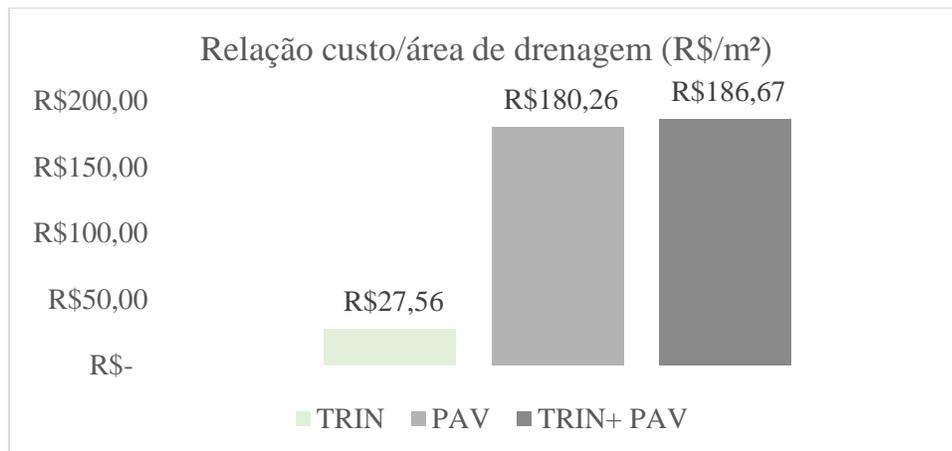


Fonte: Autora, 2018.

Para o cenário TRIN, o escoamento gerado em 9.891,76 m² da área de estudo são direcionados para as trincheiras de infiltração, o que corresponde que 32% da área total. Para o cenário PAV, a área drenada pelos pavimentos permeáveis corresponde a 14.467,54 m² ou 46% da área total. Por fim, o escoamento superficial de 15.580,32 m² é encaminhado para as estruturas em associação (as trincheiras de infiltração drenam 5.509,17m² e os pavimentos permeáveis drenam 10.071,15 m²) no cenário TRIN+PAV, equivalendo a 50% da área total.

Em termos de custos, para a execução do cenário composto por trincheiras de infiltração seriam necessários R\$ 272.571,39. Para o cenário composto por pavimentos permeáveis o custo seria de R\$ 2.607.946,85 e para o cenário com as duas estruturas seriam necessários R\$ 2.908.437,64 para a execução. Desse modo, é possível analisar a relação entre o custo para a execução do cenário e a área drenada efetivamente pelos dispositivos. O Gráfico 8 demonstra esta relação para cada cenário.

Gráfico 8 Relação entre o custo e a área drenada pelas estruturas de infiltração

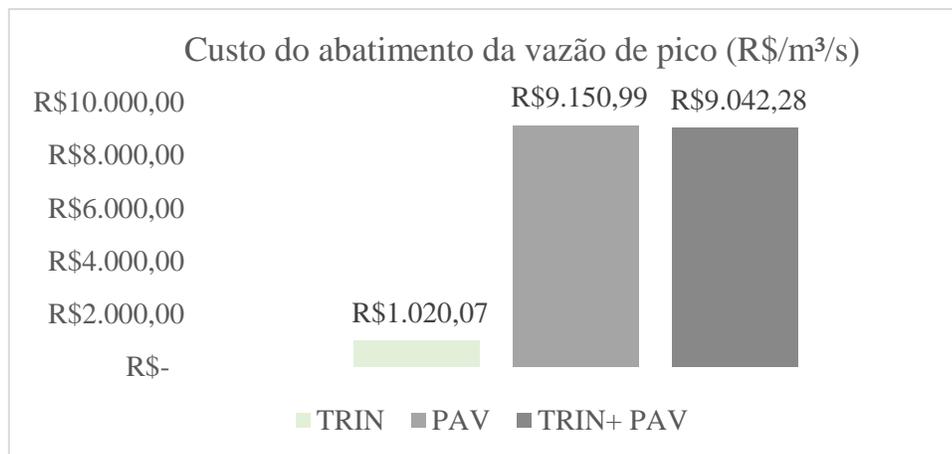


Fonte: Autora, 2018.

Desse modo, nota-se que para o cenário TRIN o custo de execução por unidade de área é igual a R\$ 27,56. Ao ponto que, para o cenário PAV este valor equivale a R\$ 180,26 por metro quadrado, bem como para o cenário TRIN+PAV que o custo vale R\$ 180,67. Analisando a grande diferença entre os resultados do cenário TRIN e o cenário PAV e TRIN+PAV, verifica-se que para a execução do cenário TRIN, os valores correspondentes a construção das vias, estacionamentos, ciclovias e passarelas não foram computados. Dessa forma seria possível realizar uma nova análise considerando a construção dos pavimentos convencionais para o cenário TRIN ou, considerando apenas o revestimento permeável (ou poroso) no cenário PAV, visto que os demais materiais são utilizados na execução do pavimento tradicional.

Além disso, mesmo os custos dos cenários PAV e TRIN+PAV sendo mais altos que o cenário TRIN, observa-se que a área de cobertura das trincheiras de infiltração é menor quando comparada à área drenada nos demais cenários. Dessa forma, faz-se necessário cruzar as informações hidrológicas com os custos, permitindo uma avaliação mais consistente. Dessa forma, outra análise realizada, sendo referente ao custo do abatimento da vazão de pico, ou seja, quantas unidades de reais são necessárias para a redução da vazão, com relação a vazão do cenário BASE, em metros cúbicos por segundo. Assim, o Gráfico 9 mostra este custo por cenário.

Gráfico 9 Custos relativos ao abatimento da vazão comparada ao cenário BASE



Fonte: Autora, 2018.

Visivelmente, o cenário TRIN apresenta um custo relativamente menor, sendo igual a R\$ 16.901,09 enquanto que para os cenários PAV e TRIN+PAV os custos foram iguais a R\$ 151.619,02 e R\$ 149.817,87, respectivamente.

4.7.3 Análise dos benefícios

Baseado nos benefícios gerais e específicos de cada estrutura, elencou-se para cada cenário os possíveis benefícios e seus correspondentes pesos, ressaltando que a pontuação de cada benefício apresenta um alto grau de subjetividade, tendo sido estimada a partir de estudos realizados em outras localidades.

Os benefícios para o cenário TRIN estão dispostos na Tabela 24.

Tabela 24 Benefícios esperados para o cenário TRIN

Benefício Esperado	Financeiros	Saúde Humana	Ambientais	Outros
Redução do escoamento das águas pluviais	2	1	1	1
Melhor qualidade da água	1	1	1	0
Reforço da recarga de água subterrânea	1	0	1	1
Total	4	2	3	2

Fonte: Autora, 2018.

Objetivando não duplicar informações, os benefícios em comum para as trincheiras e para os pavimentos não foram contabilizados duas vezes, na composição do cenário TRIN+PAV. Dessa forma, resultados dos benefícios esperados para os cenários PAV e TRIN+PAV foram iguais e estão dispostos na Tabela 25.

Tabela 25 Benefícios esperados pelo cenário PAV e para o cenário TRIN+PAV

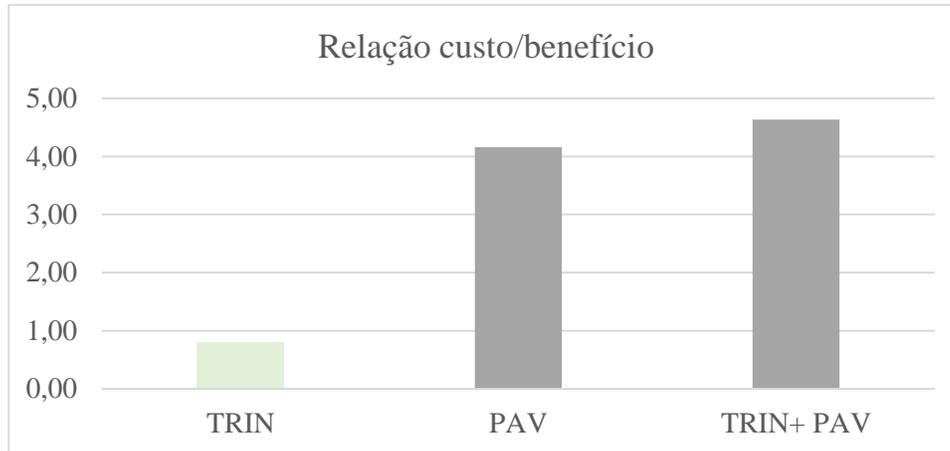
Benefício Esperado	Financeiros	Saúde Humana	Ambientais	Outros
Redução do escoamento das águas pluviais	2	1	1	1
Melhor qualidade da água	1	1	1	0
Reforço da recarga de água subterrânea	1	0	1	1
Microclima urbano melhorado	1	2	1	0
Maior vida útil da infraestrutura	2	0	1	0
Redução da poluição sonora	0	0	1	1
Total	7	4	6	3

Fonte: Autora, 2018.

Observa-se que para os três cenários é possível que que ocorra redução nos custos financeiros, que a saúde humana seja melhorada e benefícios ambientais e outros sejam verificados. Em vista disso, realizou-se uma análise entre os custos e os benefícios esperados. Onde, inicialmente, verificou-se o custo de implantação por unidade de área, seguida da verificação da relação custo/benefício.

O Gráfico 10 apresenta a relação custo/benefício para cada cenário.

Gráfico 10 Relação custo/benefício



Fonte: Autora, 2018.

Analisando os resultados da relação custo benefício verifica-se que mesmo os cenários PAV e TRIN+PAV apresentando maiores possibilidades de benefícios, os custos para obtenção dos mesmos são significativamente maiores comparados aos custos relativos ao cenário TRIN.

Após a realização das análises foi possível agrupar informações referentes aos três cenários, estas informações foram dispostas no Quadro 9.

Quadro 9 Resumo das características para os cenários TRIN, PAV e TRIN+PAV

Cenário	Propriedades	Custo/ Área drenada (R\$/ m ²)	Custo / Abatimento da Vazão de Pico (R\$/m ³ /s)	Custo/m ² / Benefício
TRIN	Área Drenada: 9.891,76 m ²	R\$ 27,56	R\$ 1.020,07	0,79
	51% da Área impermeável			
	32% da Área total			
	Ce: 0,43			
	Vazão de Pico: 356,05 m ³ /s			
	Custo total: R\$ 272.571,39			
PAV	Benefícios Esperados: 11	R\$ 180,26	R\$ 9.150,99	4,16
	Área Drenada: 14.467,54 m ²			
	74% da Área impermeável			
	46% da Área total			
	Ce: 0,41			
	Vazão de Pico: 338,27 m ³ /s			
TRIN+PAV	Custo total: R\$ 2.607.946,85	R\$ 186,67	R\$ 9.042,28	4,63
	Benefícios Esperados: 20			
	Área Drenada: 15.580,32 m ²			
	80% da Área impermeável			
	50% da Área total			
	Ce:0,36			
Vazão de Pico: 301,61 m ³ /s				
Custo total: R\$ 2.908.437,64				
	Benefícios Esperados: 20			

Fonte: Autora, 2018.

Em relação aos cenários PAV e TRIN+PAV, observa-se uma proximidade nos resultados, tanto econômicos, quanto nos benefícios. Em termos de dimensionamento observa-se que para o cenário PAV a profundidade dos pavimentos deve ser igual a 0,35m, já para o cenário TRIN+PAV o valor deve ser igual a 0,21m. Ocupando a mesma área, porém drenando o escoamento superficial de áreas distintas, sendo iguais para o PAV a 14.467,54 m² e para o TRIN+PAV igual a 10.071,15m². Em análise de custo-benefício deve-se escolher o cenário de menor valor, no caso, o cenário TRIN.

5 Conclusões

De modo geral, observa-se que com a modificação do desenho da área de estudo há um acréscimo considerável na porção de área verde, onde no cenário BASE, apenas 4% eram destinados a áreas vegetais, o índice de cobertura vegetal para a ser de 36% para o cenário URB e, com o ajuste do layout, 38% para o cenário DREN, conferindo uma ampliação na qualidade ambiental para o local. Contudo, evidenciando a importância da interdisciplinaridade no projeto, deve se escolher a vegetação adequada para as características do local.

Com a criação de novas áreas verdes também foi possibilitada a inserção das estruturas de infiltração, no caso, as trincheiras de infiltração, dimensionadas levando em consideração a existência da vegetação remanescente.

A aplicação de técnicas compensatórias de drenagem apresenta contribuições econômicas, sociais e ambientais. O uso dessas tipologias deve ser estudado de acordo com o contexto do local de inserção, suas limitações e seus requisitos devem ser observados, objetivando elevar ao máximo a sua eficiência. Distribuídas na bacia hidrográfica, são capazes de amenizar não apenas as vazões de pico, os danos causados pelas inundações, mas promovem uma série de benefícios, ao restabelecer o ciclo hidrológico natural.

Em termos da redução da vazão de pico, nenhum dos três cenários conseguiu abater a vazão de pico total. Entretanto, é observada uma redução em quase 50% em relação à vazão de pico atual. Quanto aos resultados obtidos, verificou-se que o cenário composto por trincheiras promove uma redução da vazão em 43%, sendo necessários R\$ 272.571,39 para a execução do mesmo. Para o cenário composto apenas por pavimentos permeáveis, com diferentes revestimentos, seriam necessários R\$ 2.607.946,85 e, a redução da vazão corresponde a 46%. Por fim, para o cenário composto pela associação das trincheiras de infiltração e os pavimentos permeáveis, verifica-se uma redução da vazão em 52% em relação a situação atual, e os custos de implantação dos dispositivos é igual a R\$ 2.908.437,64. Neste caso a melhor relação custo benefício, seria com a inserção do cenário composto por trincheiras de infiltração.

Ressalta-se que, o valor necessário para o cenário de trincheiras corresponde a 10% do valor do cenário para pavimentos permeáveis, e o desempenho hidrológico encontra-se em um intervalo próximo. Entretanto, na composição de custos para o cenário TRIN, não foi levado em consideração a construção do pavimento tradicional, ou seja, é possível que os valores fossem

aproximados com essa consideração. Haveria outra forma de avaliar os três cenários, considerando apenas o incremento relativo ao pavimento permeável em relação ao pavimento tradicional.

A partir do ajuste do *layout*, e do estudo de diferentes abordagens permite escolher a melhor opção, no início do processo. Neste caso, a inserção de trincheiras de infiltração mostrou-se como a opção mais atrativa, ao fazer a relação custo/benefício. Contudo observou-se em todos os cenários de intervenção uma redução considerável no volume de águas pluviais escoadas, apontando para a importância de tais estruturas no projeto urbano. Em relação ao escoamento que não foi abatido pelas estruturas adotadas, este pode ser direcionada a rede de drenagem existente, demonstrando a possibilidade de associar as medidas compensatórias ao sistema de microdrenagem, de modo a não sobrecarregar o sistema a jusante.

O desenvolvimento deste estudo possibilitou verificar o comportamento de diferentes estruturas, as trincheiras de infiltração e os pavimentos permeáveis, de modo isolado e em associação. Ficou evidente que, mesmo não atuando sobre a área total em estudo, os dispositivos promovem considerável redução na vazão de pico de projeto, e como consequência, motiva a redução do escoamento superficial, a recarga subterrânea e a redução do sistema de microdrenagem, demonstrando a importância do uso de tais abordagens. Além disso, a criação de cenários permite a avaliação de custos e benefícios, facilitando a escolha do cenário mais viável.

Além disso, pesquisas apontam que, mesmo quando a capacidade das estruturas é superada, ainda assim é observada a redução na vazão de pico do sistema em estudo. Dessa forma, evidencia a redução da sobrecarga dos sistemas de microdrenagem com o uso de medidas alternativas.

Entretanto, mesmo apresentando um bom desempenho, é imperativo que um estudo mais aprofundado dos aspectos físicos e hidrológicos sejam realizados.

Por fim ressalta-se a importância da interdisciplinaridade entre o projeto urbanístico e o projeto da drenagem urbana, entre os outros projetos, que, quando ocorre na fase de planejamento, possibilita ajustes necessários para cada setor, evita-se conflitos e custos, potencializando a estrutura urbana.

6 Referências

ABRAM, B. et al. **Sustainable Urban Drainage System in Camden- Sponsored by London Borough of Camden**, Junho 2017.

ACCIOLY, V. M. **Planejamento, planos diretores e expansão urbana: Fortaleza 1960-1992**, Salvador, 2008.

ACIOLI, L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte.**, Porto Alegre, 2005.

AL-RUBAEI, A. M. Q. **Long-Term Performance, Operation and Maintenance Needs of Stormwater Control Measures**, Luleå, 2016.

ARAÚJO, D. C. D. **Metodologia para apoio à decisão na gestão das águas pluviais urbanas combinando Métodos Multicriterial e Multidecisor**, Recife, 2016.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. M.; GOLDEFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRG**, Porto Alegre, 2000.

ARGOLLO, A. F.; BRAGA, L. **Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas: paisagem cultural e parques fluviais como instrumentos de desenvolvimento regional**. Confins. 10.4000/confins.10124., 2015.

BACCHIN, T. K. et al. **Green-Blue Multifunctional Infrastructure: Na Urban Landscape System Design New Approach**, 2014.

BAHIENSE, J. M. **Avaliação de técnicas compensatórias em drenagem urbana baseadas no conceito de desenvolvimento de baixo impacto, com o apoio de modelagem matemática**, Rio de Janeiro, 2013.

BALLARD, B. W. et al. **The SuDS manual-v.6**, London, 2015.

BAPTISTA, C. S. B. **Benefícios da infraestrutura verde/azul para o controle de cheias**, 2013.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH, Porto Alegre, 2005. 318.

BERMAN, M. **Tudo que é sólido desmancha no ar- A aventura da modernidade**, 1986.

BICHUETI, R. S. et al. **Cidades Sustentáveis no Contexto Brasileiro: A Importância do Planejamento para Desenvolvimento Urbano Sustentável**. XIX ENGEMA, Dezembro 2017.

BONAMETTI, J. H. **A paisagem urbana como produto do poder. URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana** (Brazilian Journal of Urban Management), v. 2, n. 2, p. 259-273, 2010.

BRITO, V. G. D. **Gestão das cidades: planejamento urbano sustentável e o papel da municipalidade na gestão dos resíduos sólidos**, Agosto 2017.

BUENO, D. **Desenvolvimento de um software para cálculo de impactos de um sistema tecnológico de drenagem pluvial urbana**, Diamantina, 2014.

BUGLER, P. **Green & Blue. Infrastructure Masterplan Roadmap for Tipperary Waterways**, 2017.

CALTRANS. **Pervious Pavement Design Guidance**, Califórnia, 2014.

CAMARGO, M. G. P. D.; PELEGRINI, A. V. **Biomimetismo aplicado ao design sustentável no ambiente construído – uma revisão bibliográfica sistemática**, 2014.

CAPUTO, Ú. K. **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada / estudo de caso do município de Belo Horizonte – MG**. Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte, 2012.

CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. L. D.; SPOSITO, M. E. B. **A Produção do Espaço Urbano - Agentes e Processos, Escalas e Desafios**, 2011.

CASTRO, V. L. S. D. et al. **Processamento de modelo digital de elevação para estimativa do tempo de percurso do escoamento superficial**, Abril 2015.

CAVALCANTE, T. D. S.; CARDOSO, R. **Metodologia Paramétrica aplicada ao Planejamento Urbano**. SIBRAGEC - SBTIC 2017, Fortaleza, 8 Novembro 2017. 8.

CHINI, C. M. et al. **The Green Experiment: Cities, Green Stormwater Infrastructure, and Sustainability**, 2016.

CLAR, M. L.; BARFIELD, B. J.; O'CONNOR, T. P. **Stormwater Best Management Practice-Design Guide- Volume 1-General Considerations**, 2004.

CORTEZ, A. T. C. **Sustentabilidade da paisagem no meio rural e urbano**, São Paulo, 2012.

COSTA, A. H. A. **Simulações dos impactos da urbanização sobre as inundações urbanas na bacia hidrográfica do rio Cuiá (PB)**. Dissertação de Mestrado, Junho 2013.

DAVIES, C. et al. **Green Infrastructure Planning and Implementation**, 2015.

DECRETO Nº 5.900, DE 24 DE ABRIL DE 2007. Disponível em <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/Decreto5900.2007.pdf>
Acesso em 11-06-2018

DIAS, F. S.; ANTUNES, P. T. D. S. C. Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos, Rio de Janeiro, 2010.

FERRÃO, A. A.; BRAGA, L. Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas: paisagem cultural e parques fluviais como instrumentos de desenvolvimento regional. , 2015.

FERREIRA, A. T. Tempo de enchimento de pavimentos permeáveis e poços de infiltração de água pluvial: Analogia com fluxo de calor em meios sólidos, Campinas, 2017.

FERREIRA, T. S. Avaliação do comportamento hidrológico de poços de Infiltração de águas pluviais sob diferentes Concepções, 2016.

FESTI, A. V. Coletânea das Equações de Chuva do Brasil. XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007.

FRANCHINI, T. Estudo comparativo da eficiência entre trincheira de infiltração e trincheira de infiltração com uso de garrafa pet , Campo Mourão, 2017.

FRANCO, M. D. A. R. Desenho Ambiental- Uma abordagem à arquitetura da Paisagem com o Paradigma Ecológico, São Paulo, 2008.

FREITAS, E. D. S. Determinação e comparação de curvas IDF com dados pluviográficos e pluviométricos na bacia hidrográfica experimental do Riacho Guaraíra- PB, João Pessoa, Junho 2016.

GALVÃO, R. D. S.; CUNHA , B. D. Crescimento urbano e consequências das obras de engenharia nos canais de drenagem do vale do rio João Mendes (Niterói/RJ), 2008.

GEHRELS, H. et al. Designing green and blue infrastructure to support healthy urban living, 2016.

GHOFRANI, Z.; SPOSITO, V.; FAGGIAN , R. A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts, 2017.

GOMES, B. F. M. L.; SOUSA, S. S. O. D.; CUNICO, C. Caracterização de Variáveis Fisiográficas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – PB: Subsídios para a identificação das Unidades Ambientais Naturais, 2017.

GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. D. S. R. R. A. **O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização**, 2016.

GRAHAM, A. et al. **Sustainable drainage systems- Maximizing the potential for people and wildlife-A guide for local authorities and developers**, 2012.

HARVEY, J. et al. **Fully Permeable Pavement for Stormwater Management: Progress and Obstacles to Implementation in California**, Califórnia, 2017.

HR WALLINGFORD. **Use of SUDS in High Density Developments- Guidance Manual**, 2005.

IMADA, R. G. **Práticas de microdrenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial urbano**, São Carlos, 2014.

IPH, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre – Manual de Drenagem Urbana**, Porto Alegre: IPH/UFRGS, 223 p., 2005.

JALUZOT, A. **Trees in Hard Landscapes A Guide for Delivery**. Reino Unido. 2014.

JONES, D. E. **Development and evaluation of best management practices (BMPs) for highway runoff pollution control**, 2012.

KEATING, K. et al. **Cost estimation for SUDS - summary of evidence**. Environment Agency, Março 2015.

KIPPER, A. **Drenagem Urbana: Comparativo de custos no dimensionamento utilizando sistemas de drenagem tradicional (higienista), e compensatória com micro reservatórios**, Santa Maria, 2015.

KOKAS, T. **Effect of land use and low impact development measures on urban flood hazard: a case study in the Black Creek watershed**, 2017.

KORTKAMP, K. et al. **San Francisco Stormwater Management Requirements and Design Guidelines**, 2016.

LEI N° 2.102. Código de Urbanismo. DE 31 DE DEZEMBRO DE 1975. Disponível em http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/03/codi_urba.pdf Acesso em 11-06-2018

LEI n° 10.479 de 09/06/2005. Disponível em <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=175311> Acesso em 11-06-2018.

LEI N° 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Disponível em <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/553661.pdf> Acesso em 11-06-2018

LIMA, V. C. G. D. R. **Análise experimental e numérica de trincheiras de infiltração em meio não saturado**, São Carlos, 2009.

LIZÁRRAGA-MENDIOLA, L. et al. **Hydrological Design of Two Low-Impact Development Techniques in a Semi-Arid Climate Zone of Central Mexico**, 2017.

LOCATELLI, L. et al. **Modelling the impact of Water Sensitive Urban Design technologies on the urban water cycle**, 2016.

LUC. Hart **Green Infrastructure Strategy**, Inglaterra, 2017.

LUCAS, A. H. **Monitoramento e modelagem de um sistema filtro-vala-trincheira de infiltração em escala real.**, São Carlos, 2011.

MAGALHÃES, C. R. **Bacia hidrográfica como referência de planejamento e expansão urbana para as cidades no Século XXI**, Rio de Janeiro, 2013.

MALLMANN, M. B. **Estudo experimental do escoamento superficial de dois pavimentos permeáveis de concreto em função de chuvas extremas no vale do Taquari/RS, Lajeado, 2017.**

MARTINS, V. K. D. **Avaliação de Sistemas de Prevenção e Contenção de inundações em bacia de drenagem urbana, Belém, 2015.**

MEEROW, S.; NEWELL, J. P. **Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, USA, 2016.**

MELO, T. D. A. T. D. **Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais urbanas, 2015.**

MONTENEGRO, C. T. **Evaluation of the sustainability of controlling diffuse water pollution in urban areas on a life cycle basis, 2012.**

MOORE, T. L.; RODAK, C. M.; VOGEL, J. R. **Urban Stormwater Characterization, Control, and Treatment, 2017.**

MOREIRA, D. L. **Aplicabilidade de técnicas de drenagem de baixo impacto no campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016. 70.**

MORGAN, C. et al. **Planning a Green-blue City: A how-to guide for planning urban greening and enhanced stormwater management in Victoria. Department of Environment, Land, Water and Planning, 2017.**

- NILSSON, E.; STIGSSON, A. **Pollutant Removal Efficiencies and Flow Detention of Infiltration Trenches- Na investigation of an Infiltration Trench in Kungsbacka**, 2012.
- NOCKUS, V. **Chapter 7-Hydrologic Soil Groups**, Washington, DC, January 1972.
- OLIVEIRA, A. K. B. D. **Projeto de controle de inundações na cidade Riohacha, Colômbia, apoiado em simulação matemática**, 2016.
- OLIVEIRA, C. C. D. **Caminhando na universidade: estratégias de desenho urbano que priorizam os modos de deslocamento suaves**, João Pessoa, 2017.
- PASSOLD, A. J.; BARROS, M. I. A. D. **Planejando Paisagens Produtivas Sustentáveis.**, São Paulo, 2014.
- PIMENTEL, M. J. F. **Ordenamento do Território e Gestão da Qualidade. Universidade de Aveiro**, 2013.
- PINA, S. A.; ALMEIDA, S. F.; PINA, J. H. A. **Uma análise da qualidade de vida na cidade de João Pessoa-PB frente à questão ambiental mundial** , 2010.
- POÇO, J. P. L. **Medidas de redução de escoamento superficial no Campus UTAD**, 2016.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA-PMJP. **Jampa em Mapas**, 2018.
- PREFEITURA UNIVERSITÁRIA DA UFPB, **Atlas da UFPB**, 2018.
- PUZZI, L. C. M. **Trincheiras de infiltração: experimento da aplicação na área da UTFPR – Campus Londrina** , Londrina, 2015.
- RANKIN, L. K. **Evaluation of Low-Cost Low Impact Development Practices in Southwest Florida for the Control of Urban Runoff**, 2015.
- ROCHA, C. H. **Ecologia da Paisagem e Manejo Sustentável em Bacias Hidrográficas: Estudo do Rio São Jorge nos Campos Gerais do Paraná**. Dissertação, Curitiba, 1995.
- ROMAN, C. A. **Controle da drenagem na fonte e sua compatibilização ao plano municipal de saneamento ambiental de Santa Maria, Santa Maria**, 2015.
- ROMERO, M. A. **Arquitetura bioclimática do espaço público**, 2015.
- SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; MACÊDO , N. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB**, 2017.
- SANTOS, L. C. D. O. **Desenho Resiliente : infraestrutura verde e azul para redução do risco de alagamentos e inundações em Joinville-SC**, Curitiba, 2016.

SANTOS, T. G. **Modelagem como apoio ao planejamento urbano ambiental e a redução de riscos na bacia do córrego do lenheiro, São João Del-Rei**, 2017.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. **Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 05-18, 2005.

SCOTT, A.; HÖLZINGER, O.; SADLER, J. **Making Plans for Green Infrastructure in England: Review of National Planning and Environmental Policies and Project Partners' Plans.**, 2017.

SILVA, C. B. **Relação Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas Extremas na Região Nordeste do Brasil**, Lavras-MG, 2016.

SILVA, L. M. T. **Rotas da Mata Atlântica no Campus I da UFPB: A Geografia no Cotidiano**. Relatório de Atividade de Extensão. João Pessoa-PB, 2015.

SINAPI. **Índices da Construção Civil.**, 2018.

SOARES, W. C. **Banco de dados geológicos- geotécnicos com base em sondagens à percussão e uso de SIG: Análise espacial da profundidade do lençol freático e do Nspt para obras de fundação em João Pessoa-PB**. Tese de doutorado., São Carlos-SP, 2011.

SOUZA, F. M. D.; MEDEIROS, C. L. R.; MIRANDA, D. A. D. **Proposição de técnicas compensatórias como alternativa para controle das águas escoadas no empreendimento imobiliário Fashion City (Pedro Leopoldo/MG)**, 2017.

SOUZA, V. C. B. D. **Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial**, Porto Alegre, Abril 2002.

SYMONS, J. et al. **Assessing The Economic Value of Green Infrastructure: Literature Review. Victoria University And The Government Of Victoria**, 2015.

TASSINARI, L. C. D. S. **Dimensionamento de sistemas de drenagem pluvial utilizando métodos de baixo impacto**, Santa Maria, 2014.

TOMAZ, P. **Capítulo 60- Pavimento Poroso**, 2009.

TOMAZ, P. **Capítulo 02 -Método Racional**, 2013.

TOMAZ, P. **Capítulo 14- Trincheiras de Infiltração**, 24 Abril 2016.

TOMINAGA, E. N. D. S. **Urbanização e Cheias: Medidas de Controle na Fonte**, São Paulo, 2013.

TRINDADE, S. G. Subsídios para implantação de Trincheiras de infiltração na área Urbana de Rio Claro/SP, 2009.

UDFCD. Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 3, 2010.

UFPB. Plano de Desenvolvimento Institucional 2014-2018, João Pessoa, 2014.

VESCINA, L. M. Projeto urbano, paisagem e representação alternativas para o espaço metropolitano. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, 2010.

VIRGILIIS, A. L. C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias, São Paulo, 2009.

WEISS, P. T. et al. Permeable Pavements in Cold Climates: State of the Art and Cold Climate Case Studies. Minnesota. 2015.

ZHANG, X. Adapt Green-Blue Space-Implementing the Sustainable urban Drainage System in Rotterdam city context, Holanda, 2017.

7 Apêndices

7.1 Apêndice 1: Composição de Custos para o cenário 2a: TRIN

Orçamento Básico				
Cenário:		TRIN	VALOR TOTAL	R\$ 272.571,39
ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1.0	Aquisição do Terreno	Desconsiderado		
2.0	Custos iniciais	30% dos custos de implantação		R\$ 58.408,16
2.1	Estudo do Solo			
2.2	Planejamento e projeto			
2.3	Licença Ambiental			
2.4	Autorização do órgão regulamentador			
3.0	Custos de implantação	Trincheiras		R\$ 194.693,85
3.1	Custos de Execução			
3.1.1	Escavação mecânica de material 1ª. categoria, proveniente de corte de subleito (com trator)	1426,05	R\$ 1,34	R\$ 1.910,91
3.1.2	Demolição de pavimentação	950,7	R\$ 9,20	R\$ 8.746,44
3.2	Custos de Material			
3.2.1	Camada drenante com brita nº 3	1426,05	R\$ 87,92	R\$ 125.378,32
3.2.2	Execução de dreno com manta geotêxtil 400 g/m²	4427,72	R\$ 11,22	R\$ 49.679,06
3.2.3	Grama batatais em placas	526,94	R\$ 6,07	R\$ 3.198,55
3.2.4	Plantio de grama batatais em placas	526,94	R\$ 10,97	R\$ 5.780,58
4.0	Custos de Manutenção	5% dos custos de implantação		R\$ 9.734,69
4.1	Poda do Filtro de Grama			
4.2	Remoção de plantas daninhas			
5.0	Custos de Desativação	5% dos custos de implantação		R\$ 9.734,69

7.2 Apêndice 2: Composição de Custos para o cenário 2b: PAV

Orçamento Básico					
	Cenário:	PAV	VALOR TOTAL:	R\$ 2.607.946,85	
ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	
1.0	Aquisição do Terreno	Desconsiderado			
2.0	Custos iniciais	30% dos custos de implantação		R\$	558.845,75
2.1	Estudo do Solo				
2.2	Planejamento e projeto				
2.3	Licença Ambiental				
2.4	Autorização do órgão regulamentador				
3.0	Custos de implantação	Pavimentos			R\$ 1.862.819,18
3.1	Custos de Execução				
3.1.1	Escavação mecânica de material 1ª. categoria, proveniente de corte de subleito (com trator)	10071,15	R\$	1,34	R\$ 13.495,34
3.1.2	Demolição de pavimentação	3524,90	R\$	9,20	R\$ 32.429,10
3.2	Custos de Material				
3.2.1	Blocos de concreto intertravados	6379,10	R\$	53,86	R\$ 343.578,33
3.2.2	Concreto permeável	9547,40	R\$	41,24	R\$ 393.734,78
3.2.3	Piso-grama	4215,80	R\$	50,18	R\$ 211.548,84
3.2.4	Camada drenante com brita nº 3	7053,44	R\$	87,92	R\$ 620.138,44
3.2.5	Execução de dreno com manta geotêxtil 400 g/m²	22093,97	R\$	11,22	R\$ 247.894,34
4.0	Custos de Manutenção	5% dos custos de implantação		R\$	93.140,96
4.1	Substituição de peças defeituosas				
4.2	Limpeza da superfície				
5.0	Custos de Desativação	5% dos custos de implantação		R\$	93.140,96

7.3 Apêndice 3: Composição de Custos para o cenário 3: DREN

Orçamento Básico					
Cenário: TRIN+PAV			VALOR TOTAL	R\$ 2.908.437,64	
ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE.	VALOR UNITÁRIO		VALOR TOTAL
1.0	Aquisição do Terreno	<i>Desconsiderado</i>			
2.0	Custos iniciais	<i>30% dos custos de implantação</i>			R\$ 623.236,64
2.1	Estudo do Solo				
2.2	Planejamento e projeto				
2.3	Licença Ambiental				
2.4	Autorização do órgão regulamentador				
3.0	Custos de implantação	Trincheiras	R\$ 2.077.455,45		
3.1	<i>Custos de Execução</i>				
3.1.1	Escavação mecânica de material 1ª. categoria, proveniente de corte de subleito (com trator)	823,62	R\$	1,34	R\$ 1.103,65
3.1.2	Demolição de pavimentação	599,84	R\$	9,20	R\$ 5.518,53
3.2	<i>Custos de Material</i>				
3.2.1	Camada drenante com brita nº 3	823,62	R\$	87,92	R\$ 72.412,67
3.2.2	Execução de dreno com manta geotêxtil 400 g/m²	2713,99	R\$	11,22	R\$ 30.450,97
3.2.3	Grama batatais em placas	364,34	R\$	6,07	R\$ 2.211,54
3.2.4	Plantio de grama batatais em placas	364,34	R\$	10,97	R\$ 3.996,81
3.0	Custos de implantação	Pavimentos			
3.1	<i>Custos de Execução</i>				
3.1.1	Escavação mecânica de material 1ª. categoria, proveniente de corte de subleito (com trator)	4245,23	R\$	1,34	R\$ 5.688,61
3.1.2	Demolição de pavimentação	43151,15	R\$	9,20	R\$ 396.990,58
3.2	<i>Custos de Material</i>				
3.2.1	Blocos de concreto intertravados (20x10x6)	6379,10	R\$	53,86	R\$ 343.578,33
3.2.2	Concreto permeável 40x40	9547,40	R\$	41,24	R\$ 393.734,78
3.2.3	Piso-grama (35x15x6) com execução	4215,80	R\$	50,18	R\$ 211.548,84
3.2.4	Camada drenante com brita nº 3	4245,23	R\$	87,92	R\$ 373.240,62
3.2.5	Execução de dreno com manta geotêxtil 400 g/m²	21121,17	R\$	11,22	R\$ 236.979,53

ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
4.0	Custos de Manutenção	<i>5% dos custos de implantação</i>		R\$ 103.872,77
4.1	Poda do Filtro de Grama			
4.2	Remoção de plantas daninhas			
4.3	Substituição de peças defeituosas			
4.4	Limpeza da superfície			
5.0	Custos de Desativação	<i>5% dos custos de implantação</i>		R\$ 103.872,77