

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS APUCARANA**

HELENA GUERRA PASSETI

**GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: análise e proposta alternativa
de drenagem para o campus UTFPR - Apucarana**

APUCARANA
2019

HELENA GUERRA PASSETI

**GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: análise e proposta alternativa
de drenagem para o campus UTFPR -Apucarana**

Monografia apresentada como parte dos requisitos necessários para aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Msc. Priscila Pini Pereira

Coorientadora: Prof^a. Dra. Andrea Sartori Jabur

APUCARANA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Apucarana
COECI – Coordenação do Curso Superior de
Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: Análise e proposta alternativa de drenagem para o campus UTFPR - Apucarana

por

Helena Guerra Passeti

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos 29 dias do mês de novembro do ano de 2019, às 13 horas e 30 minutos, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Curso Superior em Engenharia Civil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arquivada pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

Andrea Sartori Jabur – COORIENTADORA

Adriana Macedo Patriota Faganello – EXAMINADORA

Sarah Honorato Lopes da Silva – EXAMINADORA

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todos seus funcionários por proporcionarem um ambiente adequado e os recursos necessários para realização deste trabalho, em especial ao DEPRO que me auxiliou imensamente com a disponibilização dos projetos do campus.

Também quero agradecer a professora orientadora Priscila Pini Pereira que aceitou me auxiliar nesta jornada e a professora Andrea Sartori Jabur por ter participado de grande parte deste estudo e ter me incentivado desde o começo.

Não posso deixar de agradecer meus amigos e colegas de turma, principalmente aos meus amigos mais próximos Júlia, Beatriz e Johannes, que estiveram do meu lado, não só durante o período deste trabalho, mas durante todo o curso, me ajudando sempre com o possível.

Meu agradecimento mais especial ao meu namorado e à minha família, por ter me dado todo o suporte psicológico e afetivo durante esse período da graduação, principalmente por estar em outro estado, sempre me apoiando e me encorajando a dar o meu melhor e por terem compreendido os longos períodos em que fiquei no quarto estudando ou minhas variações de humor constantes.

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo avaliar os possíveis pontos de sobrecarga na rede de drenagem no campus Apucarana da UTFPR verificando suas possíveis causas e a proposição de soluções, através da análise por uma ferramenta computacional livre. A metodologia consistiu na simulação do sistema de drenagem do campus na ferramenta computacional SWMM, para tanto foi necessário a coleta das variáveis necessárias. Essas foram obtidas através das análises do levantamento topográfico do campus Apucarana da UTFPR; análise e coleta dos dados dos projetos de drenagem existentes; análise da infiltração do solo, através do teste de infiltração do duplo anel e da determinação da Curva Número (CN) da bacia; e determinação da chuva de projeto pela Curva Índice-Duração-Frequência (IDF) e análise dos dados pluviométricos históricos da cidade de Apucarana. A simulação do software e a análise dos projetos forneceu como resultado os pontos de alagamento da rede de drenagem. A maior parte dos pontos da rede que sofreram com alagamento estão localizados no estacionamento. Através da análise do fluxo do escoamento superficial identificou-se outros pontos de alta probabilidade de alagamentos próximos ao restaurante universitário, bloco L e N do campus. Como solução para os problemas de alagamento foi proposto a adoção de uma bacia de retenção ou bacia de retenção subterrânea na região acima dos blocos L e N, para absorver o fluxo que tem direção a esses blocos e reduzir o escoamento superficial em direção ao estacionamento, que é o ponto mais baixo do campus Apucarana da UTFPR.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Pontos de alagamentos. SWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inundação do campus.....	10
Figura 2: Ciclo hidrológico.....	16
Figura 3: Funcionamento do infiltrômetro de duplo anel.....	18
Figura 4: Localização da cidade de Apucarana.....	22
Figura 5: Localização do Campus Apucarana da UTFPR na cidade de Apucarana.....	23
Figura 6: Classificação do clima paranaense.....	24
Figura 7: Fluxograma do estudo de caso da rede de drenagem do campus Apucarana da UTFPR.....	25
Figura 8: Localização dos testes de infiltração no campus.....	27
Figura 9: Teste de infiltração com anéis duplos.....	30
Figura 10: Mapa Hipsométrico do Campus.....	35
Figura 11: Divisão do campus em quadrantes.....	36
Figura 12: Possíveis direcionamento do fluxo do escoamento.....	37
Figura 13: Diagrama de fluxo do escoamento superficial.....	38
Figura 14: Divisão das sub-bacias.....	39
Figura 15: Uso do solo do Campus.....	40
Figura 16: Perfil longitudinal de N1 a N20.....	47
Figura 17: Problemas de sobrecarga no estacionamento inferior do campus.....	48
Figura 18: Possíveis pontos de alagamento na área de estudo.....	49
Figura 19: Registro de alagamento no campus em 2018.....	50
Figura 20: Área máxima de contribuição do dispositivo.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: CN conforme o uso do solo e sua classe hidrológica	19
Tabela 2: Maiores precipitações no período de 2004 a 2014	28
Tabela 3: Coeficientes da equação da chuva de Apucarana	29
Tabela 4: Valores obtidos no primeiro ensaio de infiltração	31
Tabela 5: Valores obtidos no primeiro ensaio de infiltração	33
Tabela 6: CN de todo o campus UTFPR – Apucarana.....	41
Tabela 7: Características das sub-bacias utilizadas no SWMM	41
Tabela 8: Determinação da chuva de projeto	42
Tabela 9: Dados da chuva de projeto.....	43
Tabela 10: Síntese dos dados das sub-bacias.....	45
Tabela 11: Nós inundados durante a simulação	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	JUSTIFICATIVA	9
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo geral	11
1.2.2	Objetivos específicos	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1.	DRENAGEM URBANA	12
2.1.1.	Sistemas de drenagem	15
2.2.	CICLO HIDROLÓGICO	15
2.2.1.	Infiltração.....	17
2.3.	ESTADO DA ARTE	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	22
3.2.	METODOLOGIA	24
3.2.1.	Calibração dos ensaios de infiltração	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1.	ANÁLISE DOS TESTES DE INFILTRAÇÃO	31
4.2.	ANÁLISE DAS SUB-BACIAS.....	34
4.3.	ANÁLISE DO USO DO SOLO	40
4.4.	ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO.....	42
4.5.	ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DO SOFTWARE	44
4.6.	PROPOSIÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM ALTERNATIVA	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial tanto para a manutenção da existência humana quanto para o seu bem-estar. O conhecimento sobre o manejo da água fez com que a humanidade criasse animais e cultivasse plantas, libertando-a do nomadismo e possibilitando seu crescimento populacional no formato de aldeias. Entretanto, essas aglomerações, com o tempo passaram a crescer de forma desenfreada e desordenada e alteraram o meio tornando-o cada vez mais impermeável fazendo com que a água aliada à falta de infraestrutura, manutenção e planejamento trouxesse problemas para o homem (PINTO-COELHO; HAVENS, 2015).

A impermeabilização do solo interfere em dois dos componentes do ciclo hidrológico: a infiltração e a evapotranspiração e conseqüentemente, no terceiro componente, o escoamento superficial, pois esse processo é gerado normalmente por construções que recaem na retirada de vegetação e na adição de camadas impermeabilizantes. A vazão de água pluvial que infiltraria no solo e seria absorvida pela vegetação acaba sendo transformada em vazão superficial, podendo esse aumento ser superior à seis vezes a vazão pré-definida para projetos de drenagem anteriores às novas impermeabilizações (TUCCI, 2003).

Além do acréscimo de vazão no escoamento superficial, as redes de drenagem pluvial no Brasil ainda sofrem com a grande quantidade de resíduos sólidos que são descartados de forma incorreta pela população. Esses resíduos acabam por obstruir o sistema de drenagem, agravando o risco de inundações (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

Inicialmente, as primeiras formas de drenagem urbana surgiram com o objetivo de afastar para longe e o mais rápido possível, tanto águas de esgoto doméstico, quanto pluviais, pois eram associadas à proliferação de doenças pelos conceitos sanitaristas, vindos da Europa. Entretanto, aprendeu-se que este método apenas transferia para jusante os problemas de inundações, erosão, assoreamento e saúde pública que só ocorreriam na área impermeabilizada (MOURA, 2004).

No Brasil, em 1912, torna-se lei o sistema separador absoluto, onde a drenagem pluvial urbana é dimensionada separada do sistema de esgoto doméstico. Esta lei surgiu em função dos estudos desenvolvido pelo Engenheiro Sanitarista Francisco Rodrigues Saturnino de Brito (JABUR; GASPARINI, 2007).

Como alternativa surgiram as *Best Management Practices* (BMPs) as quais objetivavam o controle do escoamento na bacia por meio de estruturas de armazenamento ou infiltração no solo, para que os problemas não chegassem aos cursos de água (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007). Uma segunda alternativa que recebeu o nome de *Low Impact Development* (LID)

priorizava a drenagem natural e a infiltração por meio de áreas verdes como medida de amortecimento do escoamento no local, sem a transferência do impacto para jusante (CRUZ; TUCCI, 2008).

Atualmente essas técnicas alternativas de drenagem em conjunto com ferramentas computacionais atualizam e complementam os antigos projetos de drenagem. Alguns softwares realizam simulações do comportamento hidráulico com a aplicação de chuvas reais e destacam prováveis pontos de falhas nas redes, e com isso é possível propor medidas de manutenção ou alternativas mais eficientes e ambientalmente melhores para a drenagem da região estudada (VINAGRE; LIMA; LIMA JUNIOR, 2015). Uma ferramenta computacional livre que simula esse comportamento dos sistemas de drenagem é o *Storm Water Management Modelling* (SWMM), ou, em português, Modelo de Gestão de Águas Pluviais Urbanas. A ferramenta foi desenvolvida pela Agência para Proteção do Meio Ambiente (EPA) dos Estados Unidos em 1971 e é utilizado ao redor do mundo para o planejamento, análise e projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais (ROSSMAN, 2012).

O software é um modelo dinâmico de chuva-vazão, que emula o comportamento hidrológico e hidráulico da água, além da qualidade dela. Nele divide-se a área de estudo em sub-bacias, em que são determinadas suas frações de subáreas permeáveis e impermeáveis. Essas sub-bacias captam as águas precipitadas e geram escoamentos e cargas poluidoras. O software simula, então, o percurso dessa água recebida através de um sistema composto por canais, tubulações e por dispositivos de armazenamento e tratamento (ROSSMAN, 2012).

1.1 JUSTIFICATIVA

A necessidade de alterar a forma de pensar sobre a drenagem pluvial urbana no Brasil é uma realidade. Segundo (DAL-PRÁ, 2016), a falta de investimento público em manutenção e em atualização dos sistemas de drenagem, o crescimento rápido e sem planejamento das cidades, a alteração evidente dos regimes de chuva, a desconsideração das bacias hidrográficas na elaboração de projetos e a falta de fiscalização durante a execução de obras de drenagem são os responsáveis pelo quadro atual do sistema de drenagem nos municípios brasileiros.

O resultado desses déficits no planejamento das redes de drenagem é frequentemente apresentado nos noticiários durante o período chuvoso. Segundo os dados do IBGE (2014), entre o período de 2008 e 2012, os alagamentos atingiram 2065 municípios, ou seja, 37,1% dos municípios brasileiros sofreram com esses eventos. As obras de manutenção ou ampliação de sistemas de drenagem pluvial convencionais demandam um orçamento elevado e, por não

serem perceptíveis até a ocorrência de chuvas críticas, são normalmente deixadas de lado pelo investimento público. A importância de alterar e melhorar os sistemas de drenagem urbana são múltiplas, já que suas consequências causam danos materiais e sociais, à mobilidade, à saúde pública e até ao meio ambiente.

Assim como a impermeabilização nas cidades, o campus Apucarana da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) é um ambiente que está em crescimento devido a abertura de novos cursos e com isso estão surgindo novas áreas construídas e impermeáveis em seu terreno. O mesmo ocorreu nas áreas no entorno do campus, que se desenvolveram com o crescimento da universidade. A impermeabilização aumenta a vazão superficial que pode causar sobrecarga nas redes de drenagem do campus na ocorrência de chuvas críticas, como já foi constatado em alguns eventos de chuva no município. Na universidade observou-se que em alguns locais, em período de chuva, empoçamentos dificultam a mobilidade dos que convivem nesse ambiente. Em 2014, ocorreram dois eventos que o escoamento superficial interditou dois blocos da universidade, inundando salas de aula no térreo e laboratórios, além de afetar os poços dos elevadores, pois a água se acumulou no local (JABUR et al., 2018). No ano de 2015, outra situação de alagamento que comprometeu a utilização do campus foi registrada e pode ser observada através da Figura 1.

Figura 1: Inundação do campus



Fonte: JABUR et al. (2018)

Dessa forma, o campus foi escolhido como área de estudo para proposição de melhorias no sistema de drenagem pluvial, com auxílio de ferramenta computacional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar possíveis pontos de sobrecarga na rede de drenagem no campus Apucarana da UTFPR verificando suas possíveis causas e a proposição de soluções, através da análise por ferramenta computacional livre.

1.2.2 Objetivos específicos

- Cadastrar o sistema de drenagem pluvial do campus da UTFPR Apucarana;
- Conhecer as características de infiltração do solo, topografia e chuva da área de estudo;
- Criar um modelo do sistema de drenagem existente no software SWMM;
- Analisar as falhas na infraestrutura existente e propor soluções de baixo impacto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. DRENAGEM URBANA

O sistema de drenagem pluvial pode ser definido como uma associação de elementos que tem como finalidade recolher e conduzir águas superficiais até as áreas denominadas fundos de vale (SOUZA, 2013). Esses sistemas de drenagem podem ocorrer de forma natural através da própria formação do terreno, por meio de rios, várzeas, declividade do terreno, cobertura vegetal, tipo de solo, entre outros; ou de forma artificial através da introdução de dispositivos projetados, aplicados após a modificação do uso do solo (MARTINS, 2012).

No Brasil, em 1856, o sistema de drenagem pluvial foi adotado primeiramente na cidade do Rio de Janeiro devido a uma epidemia de cólera que atingiu o país na época. O sistema adotado foi do tipo unitário em que condutos transportam água pluvial e de esgoto doméstico, também conhecido como *Tout L`egout*, sistema utilizado pela cidade de Paris¹. O sistema de drenagem unitário só prevaleceu até o início do século XX (POLETO, 2011), quando o engenheiro sanitaria Francisco Rodrigues Saturnino de Brito transformou em lei a utilização do sistema separador absoluto no país. O sistema separador absoluto consiste em sistemas distintos para condução de água pluvial e água de esgoto doméstico (JABUR; GASPARINI, 2007).

Outros fatores que auxiliaram a consolidar o sistema separador absoluto, além da grande influência do engenheiro sanitaria, foram razões econômicas e o superdimensionamento dos condutos durante o período de seca do inverno brasileiro, pois o sistema era calculado através da vazão máxima e essas ocorriam somente durante o verão, que é caracterizado pelas chuvas intensas (GARRIDO NETO, 2012).

O engenheiro Saturnino de Brito ainda difundia o conceito de drenagem sanitaria (SILVEIRA, 2002). Esse conceito tinha como preceito a rápida expulsão das águas urbanas, para que essas não causassem qualquer tipo de incômodo à população. O conceito sanitaria passou a ser revisto em alguns países a partir da década de 60, pois passou a se ter uma consciência ambiental, já que havia um confronto entre o sistema de drenagem tradicional e o meio ambiente (POLETO, 2011). Essa forma de drenagem acabava por transferir os problemas de inundações, erosão, assoreamento e saúde pública para áreas à jusante, além de reduzir o

¹ Tudo ao esgoto

tempo de concentração da bacia (MARTINS, 2012), uma vez que a retirada da água se dá de forma muito rápida pelos dispositivos sanitaristas (POMPÊO, 2000).

Como medida de compensar os impactos causados pela urbanização e seu sistema de drenagem foram introduzidas medidas que atuam nos processos hidrológicos, tendo como propósito reduzir volumes ou vazões em diferentes obras (POMPÊO, 2000). Um dos primeiros conceitos de sistemas de drenagem sustentáveis ficou conhecido como *Best Management Practices* (BMPs) ou Melhores Práticas de Gestão, é definido como o conjunto de ações planejadas para atenuar os impactos da quantidade de água lançada nos fundos de vale, através da detenção, retenção ou da infiltração dessa água, utilizando, assim, medidas estruturais para a realização de seus objetivos, como reservatórios de detenção, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis (JACOB, 2015; CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

Outro conceito que também foi criado para uma drenagem mais sustentável foi o *Low Impact Development* (LID) ou Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto. Esse sistema também tem como objetivo reduzir o impacto acarretado pelo sistema de drenagem tradicional, entretanto, utilizando, além das técnicas estruturais, as técnicas não estruturais, como a escolha de *layouts* que optem por uma menor impermeabilização, preservando a vegetação nativa (POLETO, 2011; CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007), tentando preservar o ciclo hidrológico natural no processo de urbanização (GARRIDO NETO, 2012).

Dentre as medidas de controle estruturais básicas, que são as medidas que necessitam de obras e modificação da estrutura natural, tem-se as obras explicadas no Quadro 1. Todas tem como objetivo amortecer ou retardar o escoamento transferidos a jusante, com a finalidade de aliviar as redes do sistema de drenagem e dos meios receptores naturais (SILVEIRA, 2002).

Quadro 1: Medidas de controle estrutural básicas

Obra	Característica Principal	Função	Efeito
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem contribuir também.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas.

Obra	Característica Principal	Função	Efeito
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente.
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha.
Poço de infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço.
Micro-reservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo “caixa d’água” residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas.
Telhado reservatório	Telhado com função de reservatório	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação.	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação.
Bacia de detenção	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte.	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte.
Bacia de retenção	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte.	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte.
Bacia subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte.	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte.
Condutos de armazenamento	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial.	Amortecimento do escoamento do afluente à macrodrenagem.
Faixas gramadas	Faixas de terreno marginais a corpos d’água	Áreas de escape para enchentes.	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais.

Fonte: Silveira (2002).

Apesar de serem introduzidos e estudados a partir da década de 60, no Brasil, as técnicas de drenagem ambientalmente sustentáveis ainda não estão totalmente difundidas, estando em transição do sistema tradicional para o ambiental. Algumas das grandes cidades brasileiras, como São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte e Porto Alegre, já adotaram medidas que visam essa mudança de conceito, como a adoção de Plano de Desenvolvimento Urbano e Plano Diretor de Drenagem Urbana, leis que incentivem a utilização da água de chuva, leis de controles de impermeabilização, além dos métodos compensatórios (SILVEIRA, 2002; CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

2.1.1. Sistemas de drenagem

Os sistemas de drenagem podem ser divididos em na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. O sistema de drenagem na fonte é o escoamento que ocorre a nível de lote (TUCCI; BERTONI, 2003). Fazem parte desse tipo de drenagem os dispositivos de armazenamento ou de infiltração que são implementados em lotes. Os dispositivos de armazenamento têm como objetivo amenizar o pico de vazão durante o evento de chuva, ou seja, retêm o escoamento superficial a fim de liberar a água pluvial posteriormente ou ser utilizada para fins de aproveitamento. Como exemplo de dispositivos de armazenamento têm-se reservatórios, cisternas em lotes e bacias de retenção. Os dispositivos de infiltração diminuem o escoamento pluvial superficial impulsionando a absorção pelo solo através de trincheiras de infiltração, pavimentos porosos, valas e faixas gramadas (MITSUISHI et al., 2006).

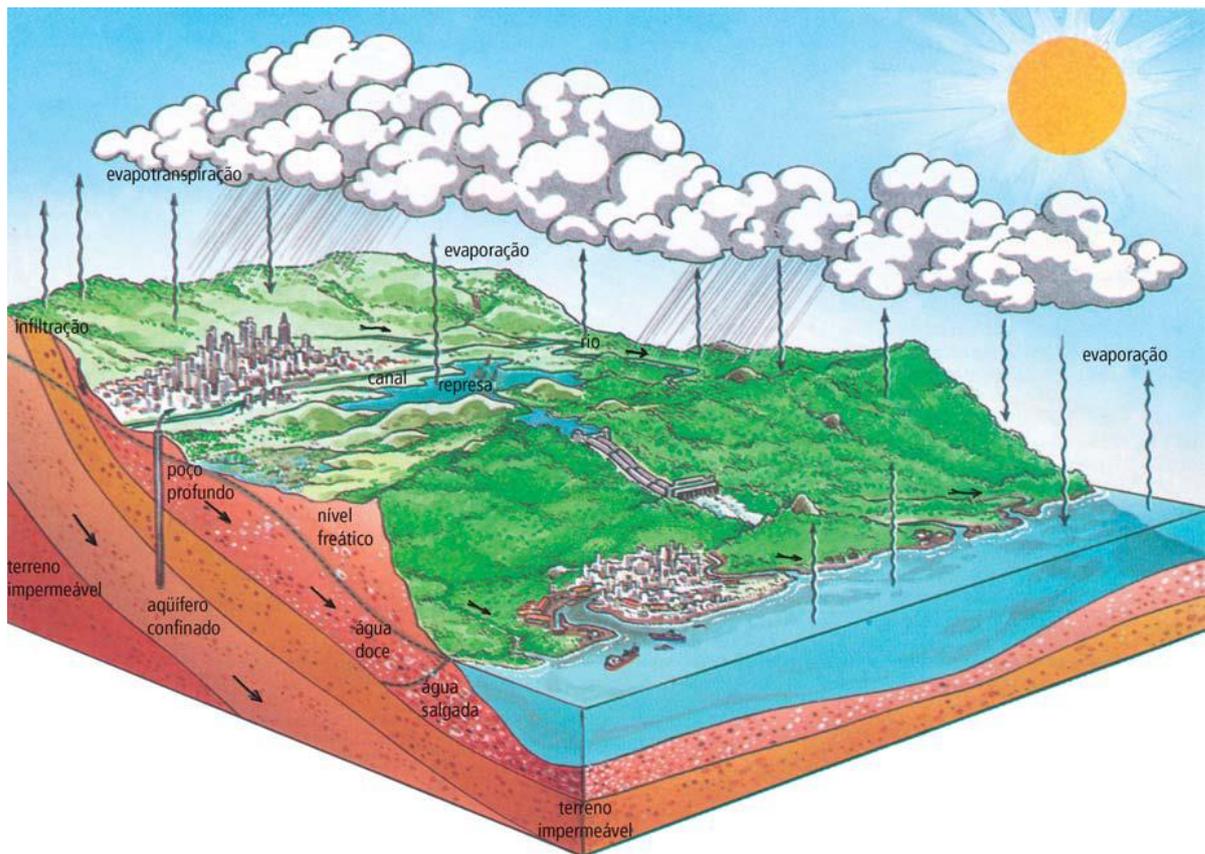
A microdrenagem é formada pelos elementos de drenagem a nível de loteamento ou a rede urbana primária, como pavimentos de ruas, sarjetas, guias, bocas de lobo, galerias de águas pluviais e canais de pequenas dimensões. Já a macrodrenagem envolve e une diversos sistemas de microdrenagem, envolvendo áreas acima de 2 km², geralmente constituídos de canais, abertos ou fechados (TUCCI; BERTONI, 2003; SÃO PAULO, 1999). A macrodrenagem é existente, não necessariamente precisa ser construída, como exemplo: os fundos de vale são considerados a macrodrenagem pluvial.

2.2. CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico consiste em um fenômeno natural que é formado por diferentes fluxos (Figura 2). A precipitação consiste no fluxo de gotas de água atraídos para a superfície

terrestre. Essa água precipitada é parcialmente retida pela superfície a qual atinge, podendo ou não ter cobertura vegetal. A evaporação é um fluxo que ocorre já durante a precipitação e após ela e consiste na troca do estado físico da água ao absorver energia. Parte da água interceptada pela superfície terrestre é absorvida pela vegetação e é transferida para a atmosfera pelo seu processo de transpiração (SILVEIRA, 2002).

Figura 2: Ciclo hidrológico



Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE (2005)

A infiltração é a parcela de água que percola para o interior do solo e promove a recarga da umidade do solo e de aquíferos subterrâneos. Parte da água infiltrada percola na zona não saturada devido ao solo ser um meio poroso. Parte da água que não infiltra no solo é escoada pela superfície por ação da gravidade, das regiões mais elevadas para as mais baixas. O escoamento superficial é então capturado por depressões, com corpos d'água ou não, onde infiltra, evapora ou é amortecido (SILVEIRA, 2002).

Esse ciclo natural é modificado pela urbanização, que altera as variáveis hidrológicas ou impede o caminho natural da água. Esse desequilíbrio tem como consequências as inundações urbanas (POLETO, 2011). A urbanização ocorre através do desmatamento e a

substituição da cobertura vegetal por áreas impermeabilizadas, isso resulta na diminuição dos tempos de concentração e no aumento do volume do escoamento superficial (POMPÊO, 2000).

2.2.1. Infiltração

A infiltração é o processo de passagem da água da camada superficial em direção às camadas inferiores do perfil do solo, sendo que esse movimento descendente ocorre através dos poros que constituem a formação do solo (COLLISCHONN; TASSI, 2008). O conhecimento desse fenômeno é de essencial importância para dimensionar os sistemas de drenagem (PAIXÃO et al., 2009), já que esse fluxo está diretamente ligado com o escoamento superficial, que é o componente do ciclo hidrológico causador de processos erosivos e inundações (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

A taxa que expressa a velocidade de infiltração da água em um solo é chamada de taxa de infiltração (TI), que pode ser representada através de altura de lâmina d'água infiltrada por tempo (mm/h) ou de volume de água infiltrado por unidade de área por tempo ($m^3/m^2.h$ ou mm/h). Essa taxa de infiltração possui um valor máximo, variando conforme o tipo de solo e a unidade que indica essa quantidade máxima de água que pode infiltrar é chamada capacidade de infiltração (CI), expressa em mm/h. A taxa de infiltração de um solo atinge a capacidade de infiltração somente quando há uma intensidade de precipitação ou de escoamento superficial igual ou superior a capacidade de infiltração. Ou seja, quando a capacidade de infiltração é atingida pode haver geração de escoamento superficial (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

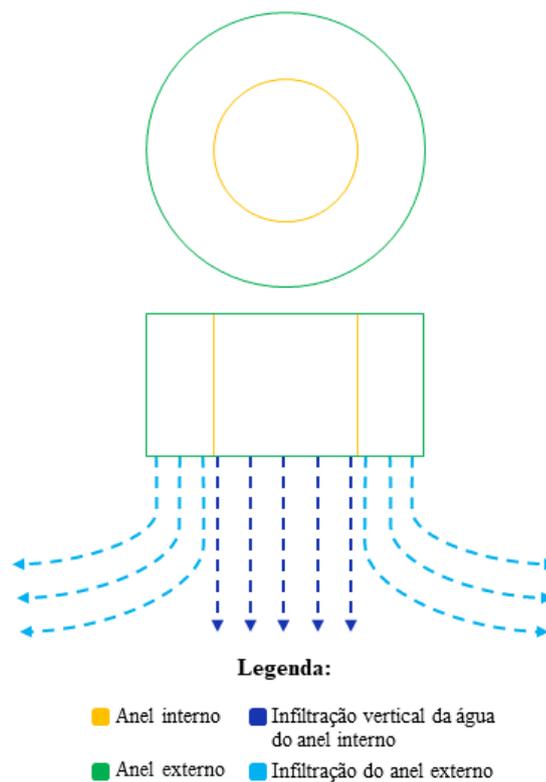
De acordo com Carvalho, Mello e Silva (2007), algumas características influenciam na capacidade de infiltração, como:

- A condição da superfície, se há ou não presença de cobertura vegetal, pois a presença de vegetal cria caminhos para o movimento da água, reduz o impacto das gotas de chuva no solo e reduz a velocidade do escoamento superficial;
- O tipo de solo, pois a estruturação das partículas de um solo e seu formato influenciam na porosidade do solo;
- A presença de umidade inicial, já que quanto mais úmido um solo, menor sua capacidade de infiltração;
- A lâmina d'água que está sob a superfície, já que a altura de água acaba por influenciar na velocidade de infiltração devido à carga hidráulica;

- A temperatura, pois o seu aumento reduz a viscosidade da água, facilitando sua infiltração;
- A presença de rachaduras ou canais biológicos criados por animais ou pela vegetação; e pelo estado de compactação daquele solo.

Um dos ensaios para encontrar a velocidade de infiltração de um solo é o do infiltrômetro de anéis concêntricos. O ensaio consiste em dois anéis metálicos com diâmetros entre 16 e 40 cm, que são cravados no solo com auxílio de suas bordas biseladas. O cilindro externo tem a função de promover o bloqueio da capilaridade lateral da água, fazendo com que a água do cilindro interno seja direcionada a infiltrar somente verticalmente, por isso a medida da altura da lâmina é realizada somente do cilindro de menor diâmetro (Figura 3) (COLLISCHONN; TASSI, 2008).

Figura 3: Funcionamento do infiltrômetro de duplo anel



Fonte: Autora (2019)

Adiciona-se então água no interior dos dois anéis ao mesmo tempo e com uma régua faz-se a leitura da lâmina de água do cilindro interno, verificando a altura dessa lâmina durante intervalos de tempo determinados. A diferença de altura de lâmina entre dois intervalos de

tempo representa a taxa de infiltração vertical nesse período. O teste finaliza quando a taxa de infiltração permanece constante ou quando há pouca variação da altura da lâmina d'água entre os intervalos de tempo (CARVALHO; MELLO; SILVA, 2007).

Um dos métodos mais utilizados para quantificar a infiltração do solo, segundo Tomaz (2002), é o método da Curva de escoamento ou Curva Número (CN). O método CN foi elaborado pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América de forma empírica, com a finalidade de estimar o escoamento superficial em pequenas e médias bacias. O cálculo da infiltração se dá pois o escoamento superficial está diretamente relacionado com ele.

O método utiliza os parâmetros de classificação hidrológica do solo, o seu uso e tratamento como forma de determinar o coeficiente CN, que busca descrever o potencial do solo em gerar escoamento. A classificação hidrológica do solo foi proposta por Musgrave, em 1955, na qual os solos são divididos em quatro grupos hidrológicos: A, B, C e D. Os grupos são divididos de acordo com a capacidade mínima de infiltração, então os solos arenosos foram incluídos ao grupo A e os argilosos no grupo D (SARTORI, 2010)

Há duas tabelas que fornecem os valores de CN, uma tabela para bacias rurais e outras para bacias em áreas urbanas e suburbanas. A Tabela 1 apresenta alguns dos valores de CN para bacias urbanas e suburbanas (TOMAZ, 2002). Como uma bacia pode possuir regiões com diferentes valores de CN, o valor global da bacia pode ser expresso por uma média ponderada do coeficiente em função das áreas correspondentes a cada CN.

Tabela 1: CN conforme o uso do solo e sua classe hidrológica

Utilização ou cobertura do solo	Classe hidrológica do solo			
	A	B	C	D
Prado em boas condições	30	58	71	78
Parques de estacionamento, telhados, viadutos	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: TUCCI (2005)

2.3. ESTADO DA ARTE

Há uma grande importância em se analisar o funcionamento dos sistemas de redes de drenagem, principalmente com a utilização de dados pluviométricos reais. Essa análise pode

auxiliar no projeto e no gerenciamento de manutenções e ampliações a serem realizados nos sistemas (VINAGRE; LIMA; LIMA JUNIOR, 2015).

Vinagre, Lima e Lima Junior (2015) estudou o comportamento hidráulico do sistema de macrodrenagem da bacia do Paracuri na cidade de Belém (PA) com o auxílio da ferramenta computacional SWMM. A bacia hidrográfica do Paracuri é formada pelos Igarapés Paracuri e Livramento e possui uma área de $14,60 \text{ km}^2$. Um dos usos do solo da bacia são ocupações informais no leito do Igarapé Paracuri, mas o projeto de urbanização da cidade prevê a realocação das famílias e execução de projetos de saneamento para a região. Para o estudo, dividiu-se a bacia em oito zonas ao longo do canal que foi projetado, a fim de representar as características naturais de cada sub-bacia, considerando suas características topográficas e urbanas. O objetivo do estudo foi simular o comportamento do canal projetado sob efeito de uma chuva real. Foram simulados dois cenários, o primeiro com o canal da forma em que foi projetado e o segundo o canal com menor profundidade devido ao assoreamento sofrido pelo canal caso não haja manutenção. O resultado obtido foi que no segundo cenário verificou-se que haverá alagamentos em duas das bacias a jusante. Ou seja, o estudo demonstrou a clara importância de se analisar o funcionamento das redes, para assim adotar medidas de prevenção, controle e manutenção dos sistemas de drenagem pluvial urbana.

Um estudo no Recife (PE) utilizou o software SWMM para analisar os pontos de alagamentos críticos da rede de microdrenagem da cidade, que recebem influência tanto das áreas contribuintes, como também das oscilações das marés. No estudo, calibrou-se o software com os projetos implantados na região, as subáreas de contribuição com suas características, como percentual de impermeabilização, declividade e taxa de infiltração, dados de precipitação e a curva da maré da região. Foram realizadas duas simulações, a primeira com adequação dos diâmetros das tubulações, na qual apresentou redução máxima no volume de alagamento de 37% para um tempo de retorno de dois anos e de 58% para cinco anos de retorno. Já na segunda simulação incluiu-se um reservatório de detenção que apresentou um resultado satisfatório para um tempo de retorno de dois anos e para o tempo de cinco anos reduziu em 38% o volume de alagamento. Sendo assim, a primeira alternativa apenas atenuaria os alagamentos e a segunda resolveria o problema de alagamento para o evento de ocorrência de dois anos (SILVA JUNIOR et al., 2017).

Em Maringá, Roveri, Passos e Valle (2014) analisou a implantação de um LID em uma rede de drenagem no município, com auxílio do software SewerGEMS ® v8i. O aplicativo foi calibrado com as características da bacia de estudo e com os projetos existentes na região. As simulações foram realizadas com o modelo de cálculo de onda dinâmica, o qual leva em conta

os efeitos dos armazenamentos nas estruturas, as sobrecargas na rede e os extravasamentos. Na primeira simulação identificou-se os pontos de sobrecarga na rede e na segunda foi inserido uma vala de infiltração em uma rotatória presente próximo à rede de drenagem. Entretanto, no segundo cenário ainda havia pontos de sobrecarga na rede, então foi proposto também a implantação de retenção em lote de 11% da área, a fim de reduzir a sobrecarga no trecho de rede.

Foi realizado um estudo no Campus Universitário Professor Zeferino Vaz com o objetivo de avaliar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem urbana identificando os trechos da rede que possuem sobrecarga e eventualmente inundações. Na pesquisa foram avaliados os graus de sobrecarga e com a elaboração das matrizes de contribuições da rede foi possível identificar as causas das sobrecargas nos trechos. A análise da rede foi realizada com um tempo de retorno de cinco anos e foram identificados 12 pontos de alagamento através de cálculos manuais. Na pesquisa foram identificadas as características hidrológicas e hidráulicas das redes e com o uso do solo da área de estudo e a intensidade de chuva foram avaliados os desempenhos hidráulicos da rede. Obteve-se como resultado problemas em alguns trechos como: estavam transportando uma vazão acima do que o conduto era capaz de transportar, que a carga manométrica estava acima do diâmetro do tubo, que o regime do escoamento era forçado, alguns apresentavam ressalto hidráulico, outros com declividade ascendente acabavam afetando o escoamento da água e outro trecho que apresentava velocidade superior as 5 m. s^{-1} , que poderia afetar tanto o conduto, quanto o corpo receptor dessa água Batista e Boldrin (2018).

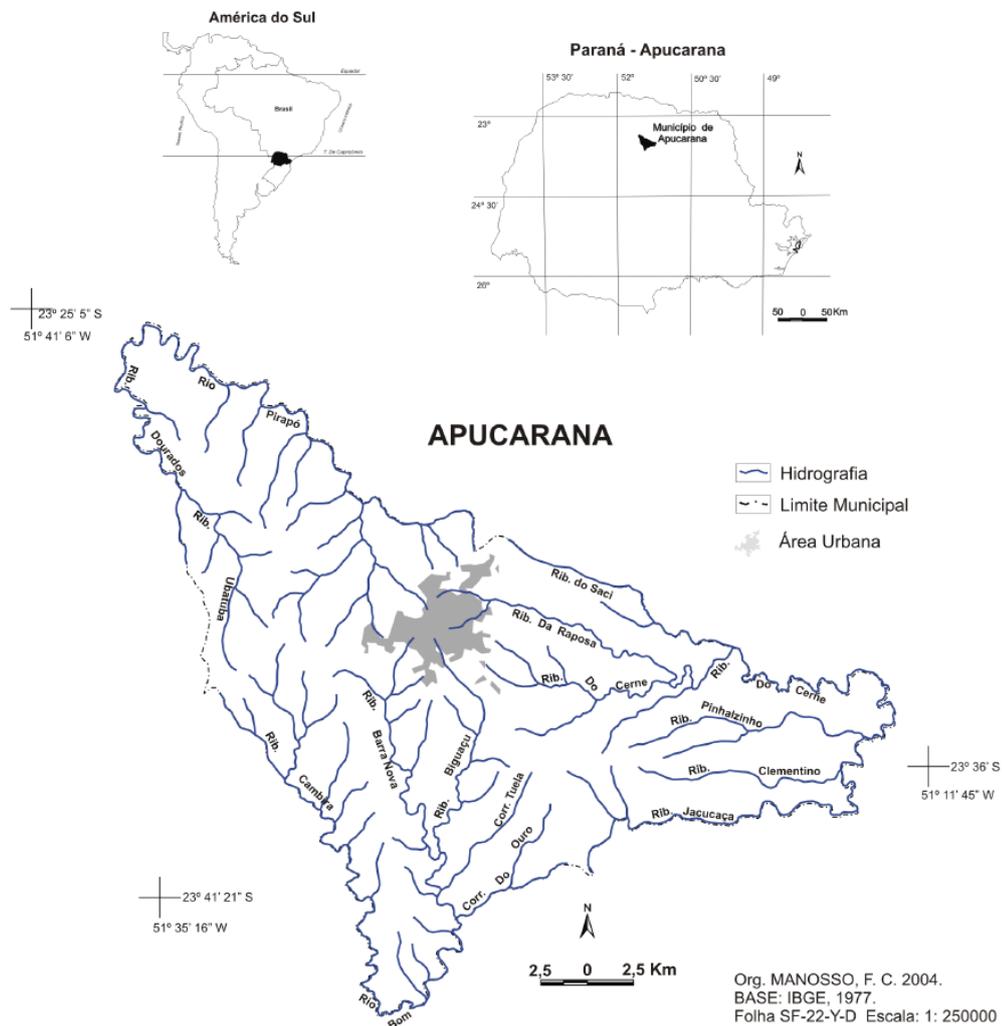
Essas pesquisas demonstram, então, a necessidade e a importância da avaliação de redes de drenagem que apresentam falhas, já que essa ação possibilita gestores a interpretar as causas desses problemas, além de propor as melhores soluções de manutenção e propostas de ampliação para o sistema de gestão de águas pluviais urbanas, reduzindo, conseqüentemente, os danos à população.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A área de estudo escolhida foi o campus da UTFPR localizado na cidade de Apucarana, situada na região norte do estado do Paraná (Figura 4).

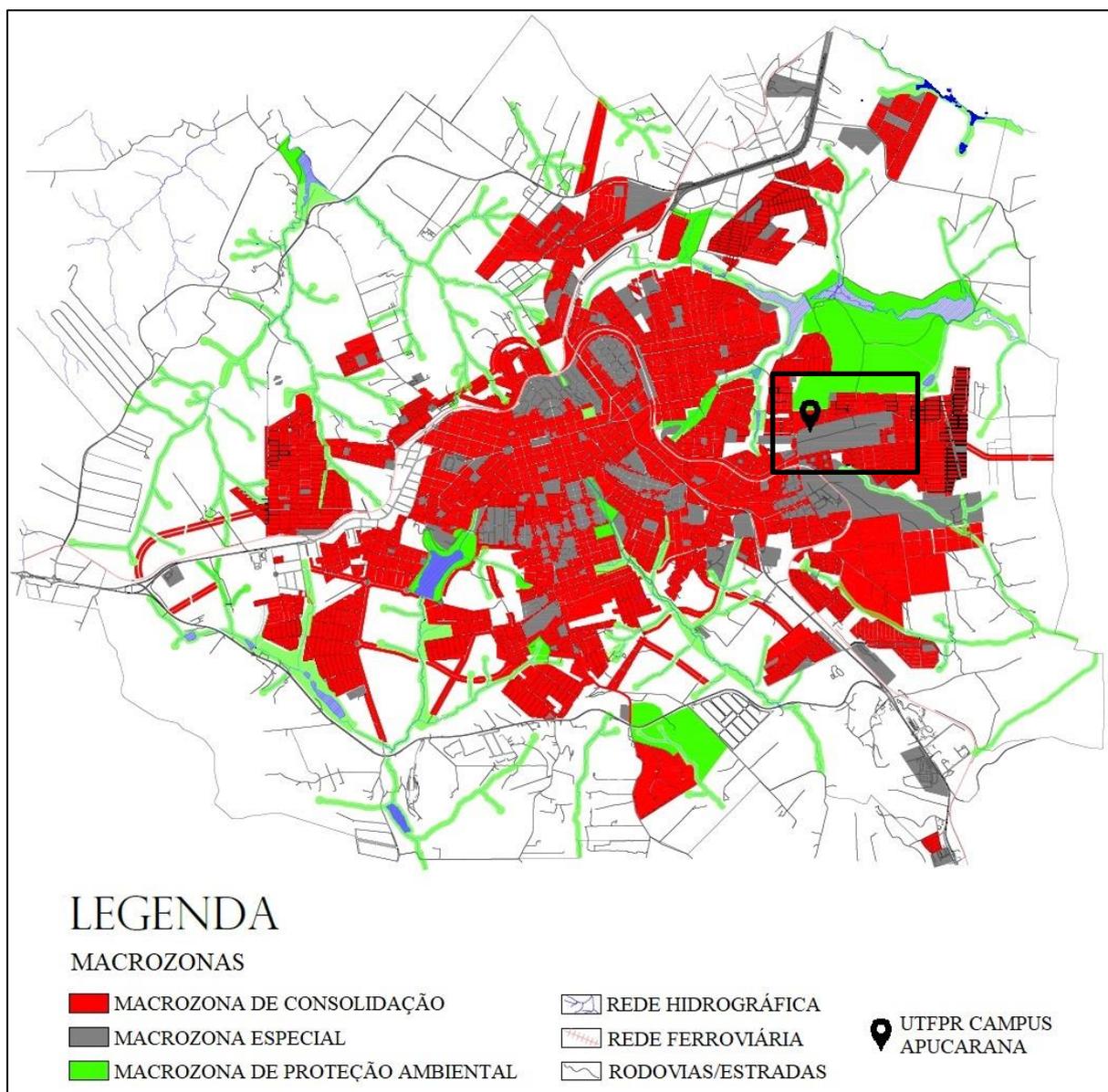
Figura 4: Localização da cidade de Apucarana



Fonte: Manosso (2007)

A Figura 5 é uma imagem retirada do mapa disponibilizado pelo Plano Diretor Municipal de Apucarana, a qual representa o local dentro da região urbana de Apucarana que está localizado o campus da UTFPR. O marcador preto indica a localização da universidade.

Figura 5: Localização do Campus Apucarana da UTFPR na cidade de Apucarana



Fonte: Modificado de Prefeitura de Apucarana (2014)

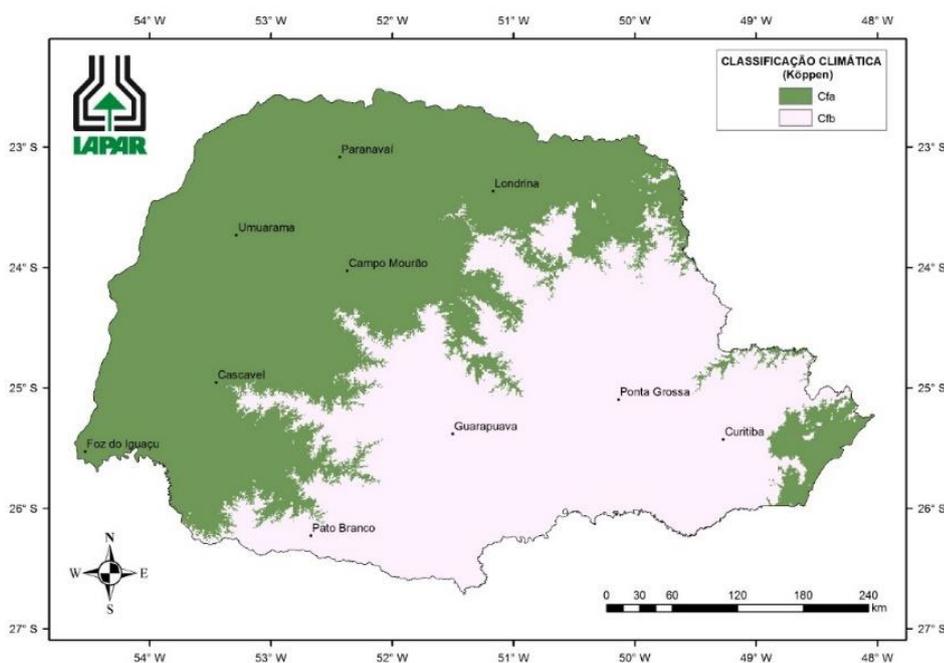
Sobre o Terceiro Planalto Paranaense e sobre o Planalto do Rio Paraná (IBGE, 2019), a região central da cidade está localizada no divisor de águas de três bacias hidrográficas: a do Rio Tibagi, a do Rio Ivaí e a do Rio Paranapanema. A cidade de Apucarana possui uma variação de altitude entre 750 e 860 metros em seu interflúvio principal e até cotas abaixo de 500 metros nas extremidades do município (MANOSSO, 2007).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) o solo da região de Apucarana é do tipo Latossolo Vermelho na região central e Nitossolo Vermelho nas extremidades. Seu substrato geológico foi constituído através de derrames vulcânicos com presença predominante de rochas basálticas e andesi-basálticas (MANOSSO, 2007). Segundo

Manosso (2005), ambos os tipos de solo são compostos por material mineral, sendo que o Nitossolo vermelho possui textura argilosa ou muito argilosa, caracterizando esse tipo de solo como do tipo D na classe hidrológica dos solos.

O clima de Apucarana, conforme a classificação climática Köppen, que correlaciona clima e vegetação, é do tipo Cfa, conforme a Figura 6 (IAPAR, 2019). Cada letra da sigla define uma característica da região classificada, sendo que a primeira representa a característica geral do clima, a segunda indica as características pluviométricas da região e a última letra indica a temperatura média dos meses mais quentes (SÁ JÚNIOR, 2009). Ou seja, Cfa representa o clima Subtropical Úmido Mesotérmico, que é definido por verões quentes e com maior tendência de chuva e invernos com pouca frequência de geada e ausência de estação seca definida (APUCARANA, 2017).

Figura 6: Classificação do clima paranaense



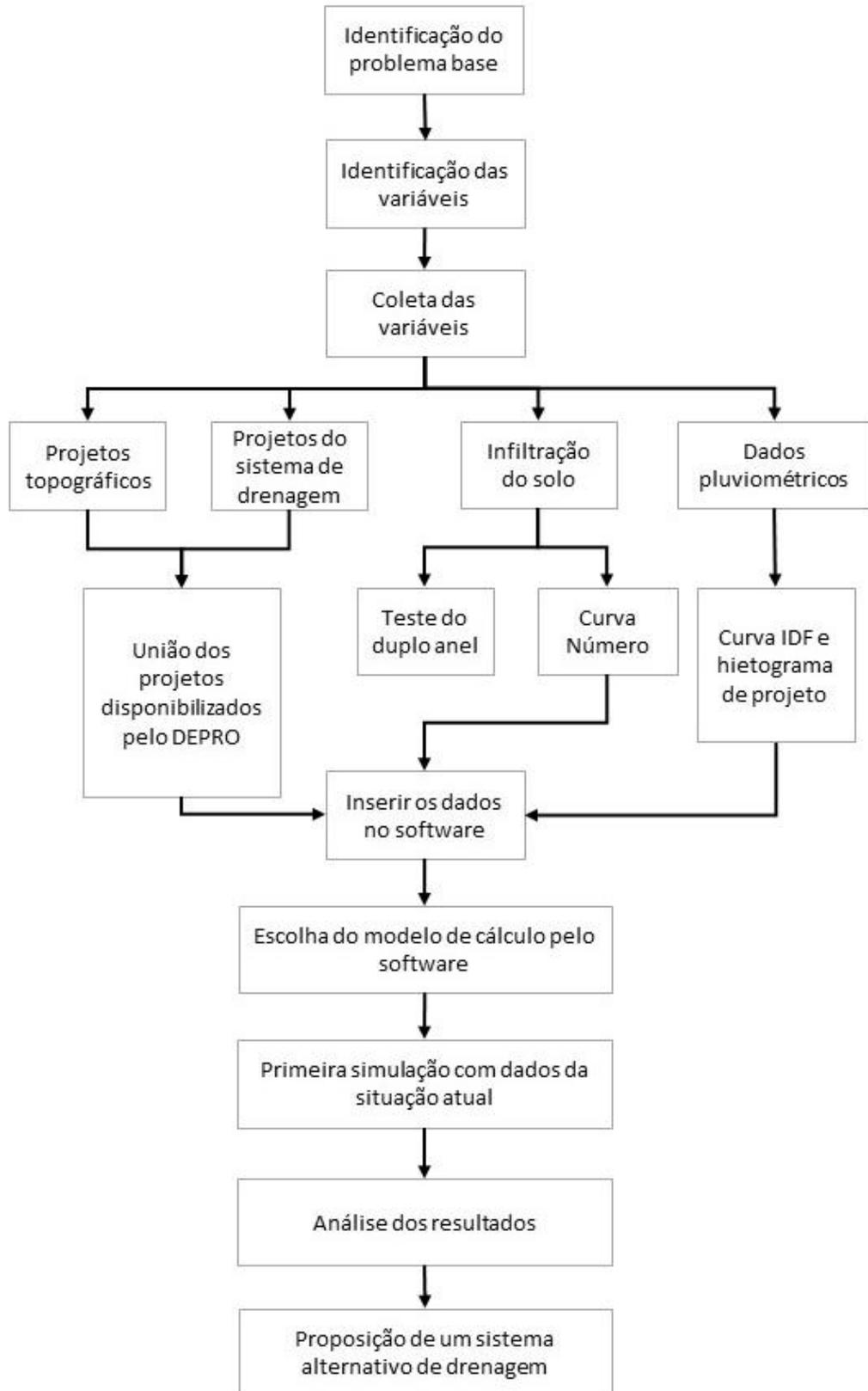
Fonte: IAPAR (2019)

3.2.METODOLOGIA

A metodologia adotada para o presente trabalho foi a de estudo de caso, a qual consiste na identificação e análise de um problema com a finalidade de estudar suas possíveis causas e, assim, propor soluções. Portanto, o presente trabalho seguiu a cronologia do fluxograma apresentado na Figura 7.

Figura 7: Fluxograma do estudo de caso da rede de drenagem do campus Apucarana da

UTFPR



Fonte: Autora (2019)

O estudo iniciou-se, então, com a identificação do problema base: a dificuldade de mobilidade dentro da universidade durante o período chuvoso; e quais medidas podem ser tomadas para combater esse impasse. A identificação se deu ao longo do curso, na qual situações de alagamentos ocorreram dentro do campus. Foi com base nesse problema que se estabeleceu os objetivos anteriormente citados. Para a resolução desses objetivos foi estabelecido a necessidade do estudo de caso do sistema de drenagem do campus relacionando-o com pesquisas bibliográficas.

O passo seguinte foi a decisão da ferramenta computacional a ser utilizada para a simulação hidráulica do sistema de drenagem do campus Apucarana da UTFPR. O software escolhido foi o SWMM por ser uma ferramenta computacional de simples utilização e livre.

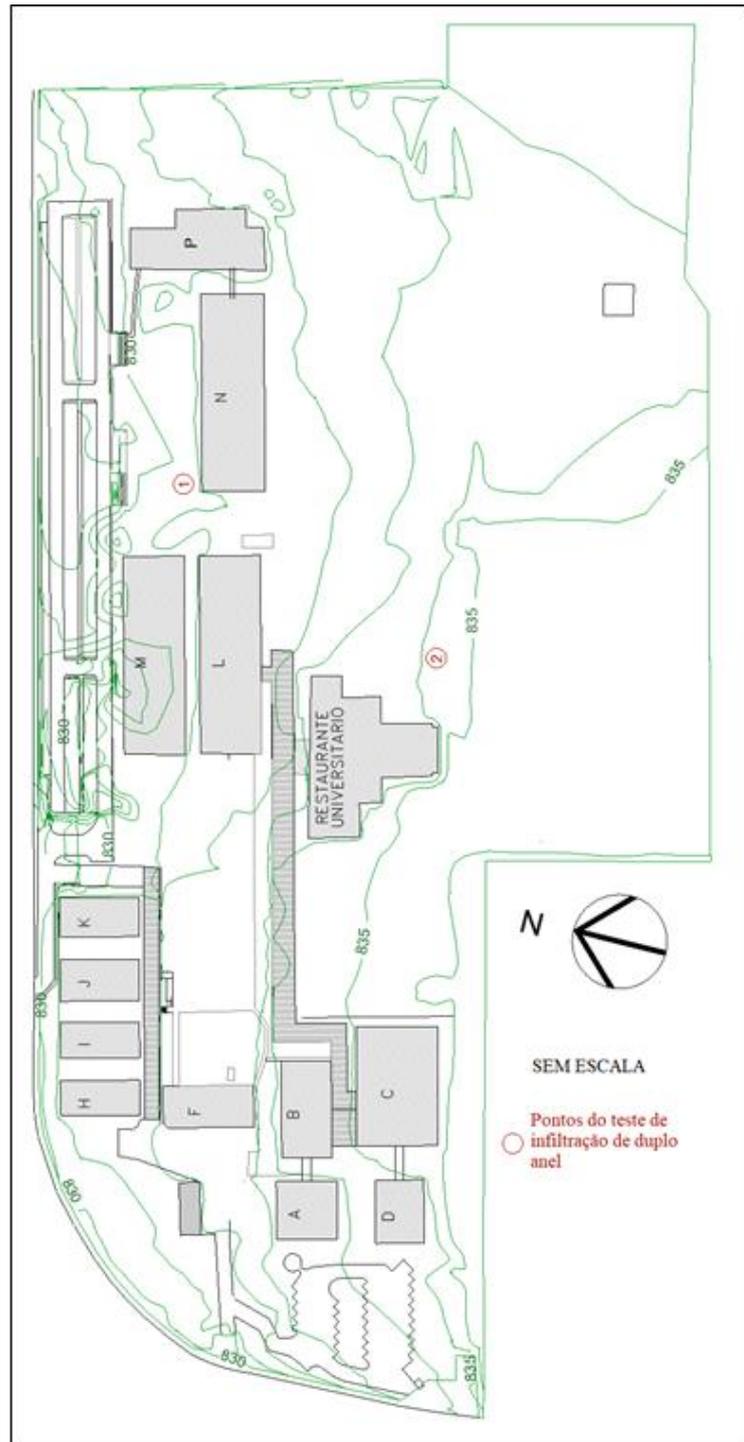
A ferramenta SWMM necessita das características da área de estudo, para simular o comportamento hidráulico da água no sistema de drenagem. Para isso são fornecidas as características de projeto do sistema de drenagem, como comprimento de tubulação, seção geométrica, material, volumes de armazenamento e localização de poços de visita; definição das sub-bacias, dentro da área de estudo com a sua porcentagem de áreas impermeáveis e permeáveis; características de cada sub-bacia, com seus dados de infiltração, definidas através da CN, área e topografia; e dados pluviométricos da região de estudo, para que a simulação ocorra o mais próximo do real. O modelo computacional apresenta como resultados: a vazão, altura de escoamento, percurso, qualidade e quantidade de água.

Os primeiros dados a coletados foram os projetos tanto topográficos quanto os de sistema de drenagem que já estão implementados no campus. Os projetos foram cedidos pelo Departamento de Projetos e Obras (DEPRO) do campus Apucarana da UTFPR. A maioria dos projetos eram das instalações hidrossanitárias, ou seja, descreviam a locação, dimensão e inclinação de calhas, condutores horizontais e verticais e cisternas de armazenamento de água de chuva das construções. Entretanto ainda estavam faltando os projetos de drenagem de alguns locais do campus. Portanto, foi necessário fazer o levantamento dos sistemas faltantes, indicar sua localização e aproximar suas características de comprimento, diâmetro e inclinação por meio de entrevistas com os engenheiros do DEPRO.

Após a coleta de projetos, iniciou-se a busca pela caracterização do campo de estudo. A primeira característica buscada foi a determinação da infiltração do solo, para tanto foi realizado a busca do uso do solo para a determinação da Curva Número (CN) da bacia e os testes de infiltração, seguindo uma adaptação da norma ASTM D 3385 (ASTM, 2003), que utiliza os anéis duplos concêntricos como equipamentos de realização de ensaio. Para a realização desse teste era necessário um ambiente que não tivesse cobertura vegetal, portanto os locais

escolhidos foram ao lado do bloco N (1), onde há a previsão da construção do bloco O do campus; e ao lado do restaurante universitário do campus (2), conforme mostrado na Figura 8. Esses locais foram escolhidos já que eram locais não gramados, facilitando a realização do ensaio.

Figura 8: Localização dos testes de infiltração no campus



Fonte: Modificado de DEPRO UTFPR (2019)

A próxima etapa da pesquisa consistiu na coleta de dados históricos de chuva da região, no qual está localizado o ambiente de estudo. Os dados coletados da cidade de Apucarana foram documentados diariamente do dia primeiro de janeiro de 2004 ao último dia de dezembro de 2014 e disponibilizados pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR, 2015 apud JABUR; FAGANELLO, 2017, p.7). A Tabela 2 apresenta as maiores precipitações ocorridas durante esse período em ordem crescente, com suas respectivas datas e temperaturas médias.

Tabela 2: Maiores precipitações no período de 2004 a 2014

Data	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
19/06/2012	144,4	17,649
20/01/2005	116,6	21,642
03/02/2013	108,8	18,783
28/05/2013	95,4	16,741
15/10/2009	87,6	16,763
18/10/2004	81,4	17,800
16/01/2005	73,4	22,592
09/06/2011	70,4	13,979
02/06/2013	69,8	19,007
26/09/2010	69,2	17,049
03/10/2013	69,2	18,452
24/05/2005	69,0	18,292
02/11/2008	65,6	20,608
12/12/2009	63,2	21,826
15/07/2010	62,8	13,528
24/07/2007	61,4	11,729
31/12/2009	61,0	23,023
15/12/2013	60,0	23,586

Fonte: SIMEPAR (2015 apud JABUR; FAGANELLO, 2017, p.7)

Com esses dados máximos de chuva foi possível determinar que precipitação a ser simulada no software deveria estar dentro da faixa de 60 a 144,4 mm, apesar de algumas referências apresentam que valores de precipitações com 40 mm podem ocasionar problemas de pontos de inundação (LIMA; AMORIN, 2014).

A Curva IDF é obtida através do estudo de séries longas de dados pluviométricos de determinada região. Esses dados passam por tratamento estatístico para estabelecer a frequência de ocorrência de uma chuva de intensidade e duração determinadas. Esse estudo é feito para diversas durações e intensidades e esses dados são demonstrados graficamente através de uma curva IDF (COLLISCHONN, TASSIA, 2008). A expressão genérica que descreve essas curvas IDF é dada pela equação (1) (SUDERHSA, 1998)

$$i = \frac{a * T_r^n}{(t + b)^m} \quad (1)$$

Sendo que i é intensidade média da chuva (mm/h), t é a duração da chuva em minutos, T_r é o tempo de recorrência em anos, e a, b, m e n são coeficientes de ajustes para cada região. Essa expressão também é conhecida como equação das chuvas. A equação da chuva de Apucarana tem os coeficientes apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Coeficientes da equação da chuva de Apucarana

a	b	m	n
1301.07	15	0.836	0.177

Fonte: SUDERHSA (1998)

Com um tempo de recorrência de 5 anos, utilizado comumente para microdrenagem de edifícios públicos segundo Tomaz (2002 apud PORTO, 1995) foi obtido a chuva de projeto com intervalos de duração de dez minutos. O período total do evento da chuva foi de 3 horas.

Dispondo dos dados requeridos pela ferramenta computacional SWMM foi possível realizar a simulação do comportamento hidráulico do sistema de drenagem pluvial do campus. Serão realizadas simulações utilizando o modelo de onda dinâmica, o qual permite representar fenômenos mais complexos, por exemplo a análise de fluxo sob pressão que é causado quando um nó a montante alaga, pressurizando a tubulação seguinte e aumentando por consequência sua vazão (ROSSMAN,2012).

Com os resultados de simulação da chuva de projeto e outros resultados parciais encontrados ao longo do projeto, foi possível identificar e propor possíveis problemas da rede.

3.2.1. Calibração dos ensaios de infiltração

Para a realização dos ensaios de infiltração, foi realizado um teste tátil-visual do solo para saber se a umidade presente nele seria um impedimento para a realização do teste de infiltração. Com um pouco de solo fez-se um torrão e o jogou para cima, como o torrão não se desfez com a queda o solo não estava úmido o suficiente para impedir a realização do teste.

Após a cravação do anel de maior diâmetro acomodou-se o anel de menor diâmetro concentricamente ao maior. Os anéis foram cravados no solo, no qual não foram feitos nenhum

tipo de movimentação ou limpeza, de forma que não ocorressem vazamentos pelas bordas do cilindro de maior diâmetro. Foi então realizada a sobrecarga de água simultaneamente no interior dos dois anéis (Figura 10).

Figura 9: Teste de infiltração com anéis duplos



Fonte: Autora (2019)

Marcou-se, então, a altura de água na qual foi colocada a carga inicial. A cada minuto seguinte foram anotadas as alturas de água que eram indicadas pela régua presente no anel de menor diâmetro. Em um dos ensaios a carga inicial teve uma infiltração rápida, fez-se, então, uma sobrecarga no terceiro minuto de ensaio, para elevar a quantidade de água e prolongar o tempo de ensaio. Quando a variação de altura de água estabilizou, ou seja, foi pequena de um minuto a outro, optou-se por medir as alturas a cada cinco minutos

Com os dados coletados no ensaio foi possível encontrar a infiltração (mm/h), por meio da divisão da diferença de alturas pelo intervalo de tempo entre as leituras. Com essas infiltrações que variam em função dos tempos de ensaio, desenvolveu-se o gráfico da infiltração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DOS TESTES DE INFILTRAÇÃO

Os valores obtidos no primeiro teste de infiltração no dia 29 de abril de 2019 são apresentados pela Tabela 4.

Tabela 4: Valores obtidos no primeiro ensaio de infiltração

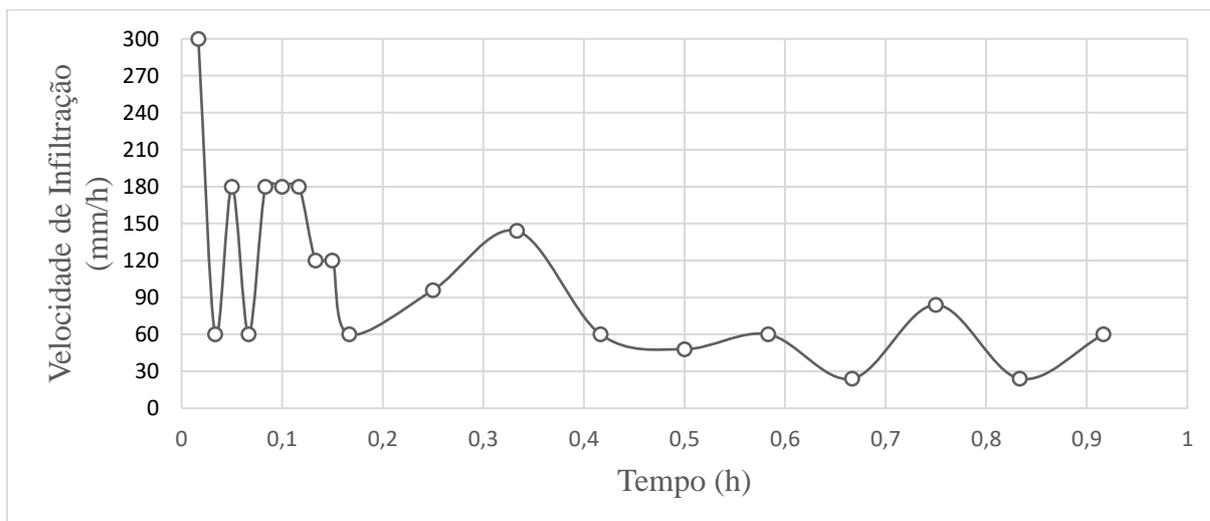
T (min)	T (h)	ΔT (h)	Leitura (cm)	Recarga (cm)	Diferença (mm)	I (mm/h)
0	0	-	20,5		-	-
1	0,0167	0,0167	21		5	300
2	0,0333	0,0167	21,1		1	60
3	0,0500	0,0167	21,4	12,5	3	180
4	0,0667	0,0167	12,6		1	60
5	0,0833	0,0167	12,9		3	180
6	0,1000	0,0167	13,2		3	180
7	0,1167	0,0167	13,5		3	180
8	0,1333	0,0167	13,7		2	120
9	0,1500	0,0167	13,9		2	120
10	0,1667	0,0167	14		1	60
15	0,2500	0,0833	14,8		8	96
20	0,3333	0,0833	16		12	144
25	0,4167	0,0833	16,5		5	60
30	0,5000	0,0833	16,9		4	48
35	0,5833	0,0833	17,4		5	60
40	0,6667	0,0833	17,6		2	24
45	0,7500	0,0833	18,3		7	84
50	0,8333	0,0833	18,5		2	24
55	0,9167	0,0833	19		5	60

Fonte: Autora (2019)

Os valores da taxa de infiltração do solo estão dispostos na coluna I e são calculados através da equação (2).

$$I = \frac{\text{Diferença}}{\Delta T} \quad (2)$$

Com os valores de infiltração em função do tempo foi elaborado o Gráfico 1.

Gráfico 1: Velocidade de infiltração em função do tempo – 1º ensaio

Fonte: Autora (2019)

Os valores observados no Gráfico 1 e na Tabela 4 demonstram uma taxa de infiltração elevada para o tipo de solo da região de Apucarana, que é um solo argiloso e tem como característica a baixa capacidade de infiltração. Na Tabela 4, na coluna Diferença, observa-se que não houve nenhum intervalo de tempo que o nível de água permaneceu constante e na Coluna I, observa-se valores da taxa de infiltração acima de 100 mm/h. Essa taxa de infiltração elevada para a região pode ter ocorrido devido à erros de leitura, pois o teste é todo realizado manualmente ou devido à movimentação de solo no Campus onde foi realizado o experimento, que passou por obras de terraplanagem durante as obras de construção do bloco N, uma vez que no local será construído o bloco O do campus futuramente.

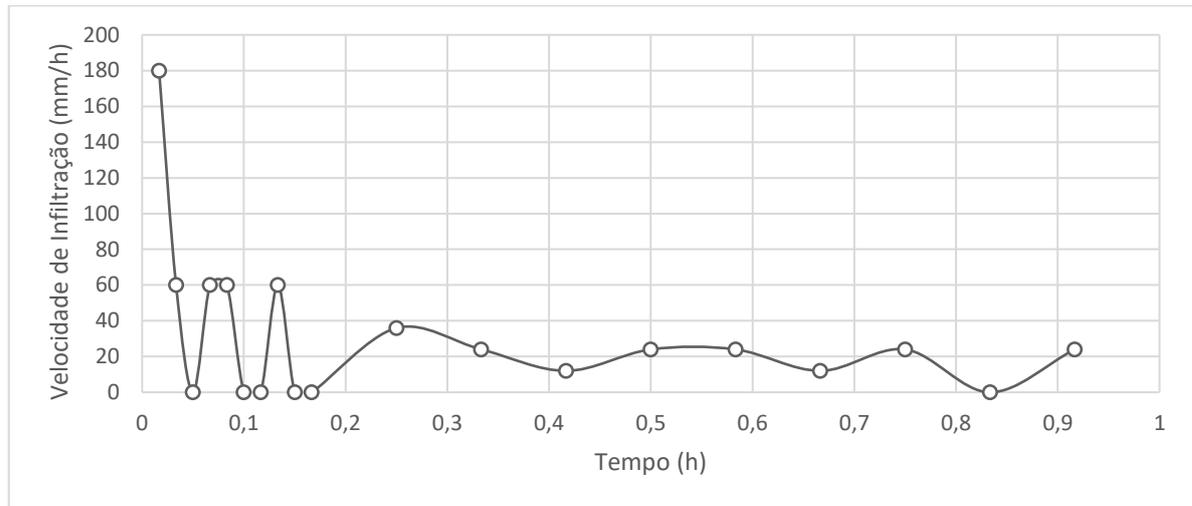
O segundo teste de infiltração, realizado no dia 11 de julho de 2019, obteve-se os resultados demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores obtidos no primeiro ensaio de infiltração

T (min)	T (h)	ΔT (h)	Leitura (cm)	Diferença (mm)	I (mm/h)
0	0		11,5		0
1	0,01666667	0,01666667	11,8	3	180
2	0,03333333	0,01666667	11,9	1	60
3	0,05	0,01666667	11,9	0	0
4	0,06666667	0,01666667	12	1	60
5	0,08333333	0,01666667	12,1	1	60
6	0,1	0,01666667	12,1	0	0
7	0,11666667	0,01666667	12,1	0	0
8	0,13333333	0,01666667	12,2	1	60
9	0,15	0,01666667	12,2	0	0
10	0,16666667	0,01666667	12,2	0	0
15	0,25	0,08333333	12,5	3	36
20	0,33333333	0,08333333	12,7	2	24
25	0,41666667	0,08333333	12,8	1	12
30	0,5	0,08333333	13	2	24
35	0,58333333	0,08333333	13,2	2	24
40	0,66666667	0,08333333	13,3	1	12
45	0,75	0,08333333	13,5	2	24
50	0,83333333	0,08333333	13,5	0	0
55	0,91666667	0,08333333	13,7	2	24

Fonte: Autora (2019)

Com os valores da taxa de infiltração, foi elaborado o Gráfico 2, no qual são demonstrados a evolução das taxas de infiltração ao longo do tempo de ensaio.

Gráfico 2: Velocidade de infiltração em função do tempo – 2º ensaio

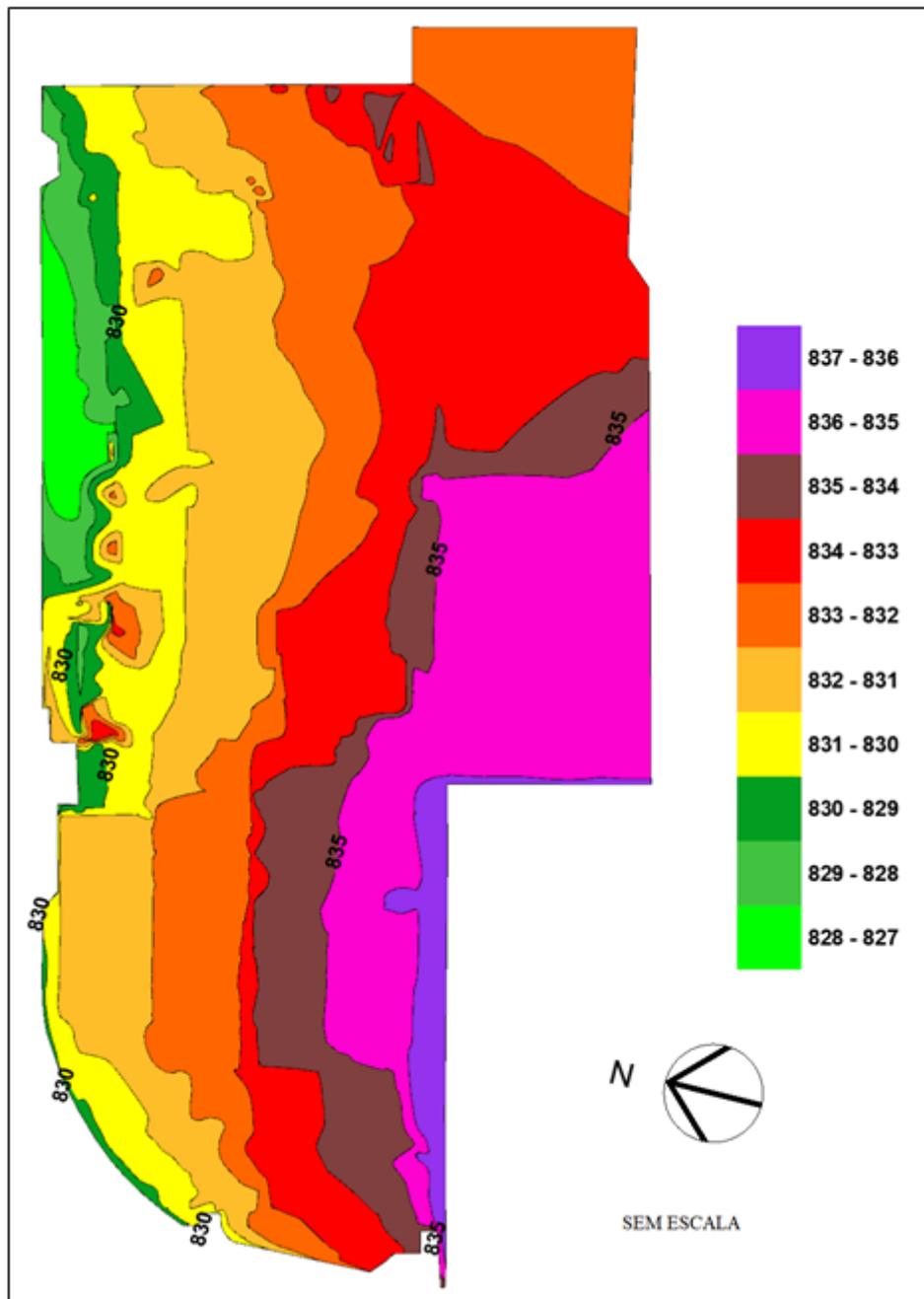
Fonte: Autora (2019)

Os resultados do segundo teste de infiltração apresentados pelo Gráfico 2 e Tabela 5, apresentam valores menores da taxa de infiltração comparados ao primeiro ensaio. O maior valor de infiltração é a infiltração inicial de 180mm/h no primeiro minuto de ensaio, que é coerente devido ao solo estar seco e haver um pico de infiltração no início do teste, entretanto, esse valor é igual aos observados no primeiro ensaio, mas em períodos distantes da infiltração inicial, comprovando que o local sofre com o processo de compactação em relação ao primeiro ensaio de infiltração.

4.2. ANÁLISE DAS SUB-BACIAS

Para inserir no software SWMM se fez necessário estudar o campus Apucarana da UTFPR como uma bacia hidrográfica e identificar as sub-bacias presentes nela. Para dividir a universidade em sub-bacias iniciou-se com a realização do mapa hipsométrico do campus (Figura 10), para assim entender as curvas de nível local e também onde estão localizados os pontos altos (espigão) e os pontos baixos (exutórios).

Figura 10: Mapa Hipsométrico do Campus



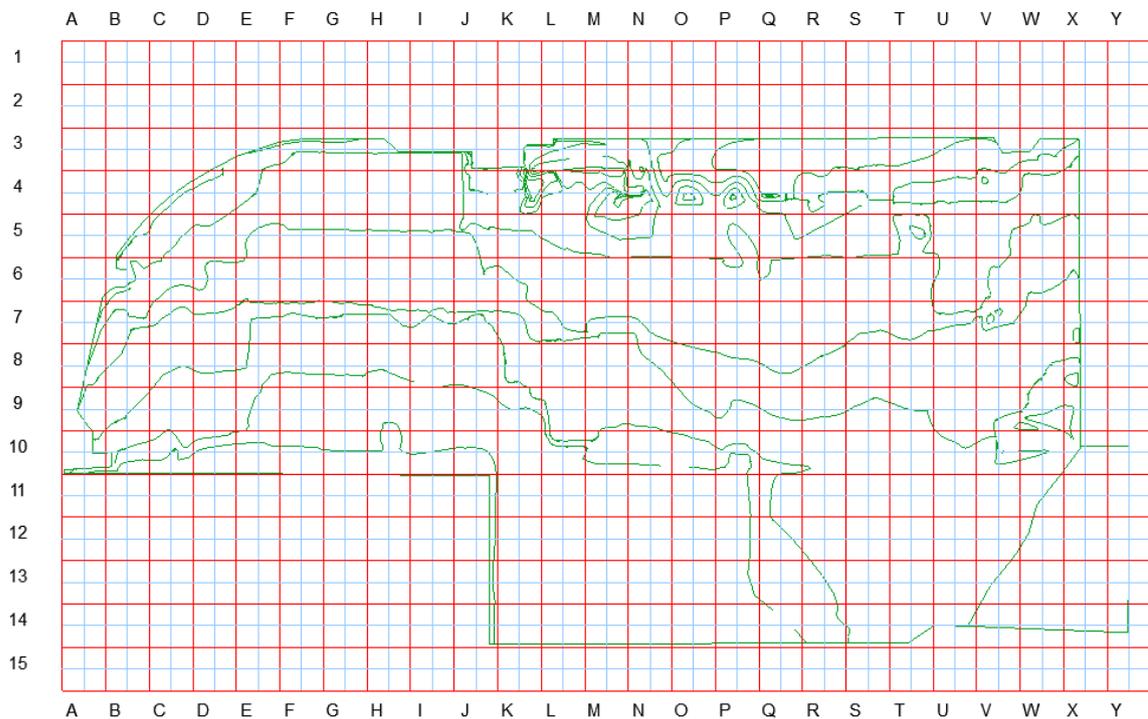
Fonte: Modificado de DEPRO (2019)

Através da Figura 10, foi possível compreender que as cotas da universidade vão decrescendo da direita para a esquerda, concluindo assim que o fluxo do escoamento superficial da água pluvial seguiria esse curso. Foi observado também uma certa irregularidade nas cotas da esquerda do mapa, local onde deveria estar nivelado conforme o projeto do estacionamento.

Foi então realizada a análise do fluxo do escoamento superficial da água após o entendimento de como ocorre a declividade do campus.

A análise do fluxo do escoamento foi realizada com o auxílio do levantamento topográfico do campus. Dividiu-se a área do campus em quadrados de 20 por 20 metros e no centro de cada quadrante foi identificado a cota altimétrica de cada ponto através de interpolação das curvas de nível (Figura 11).

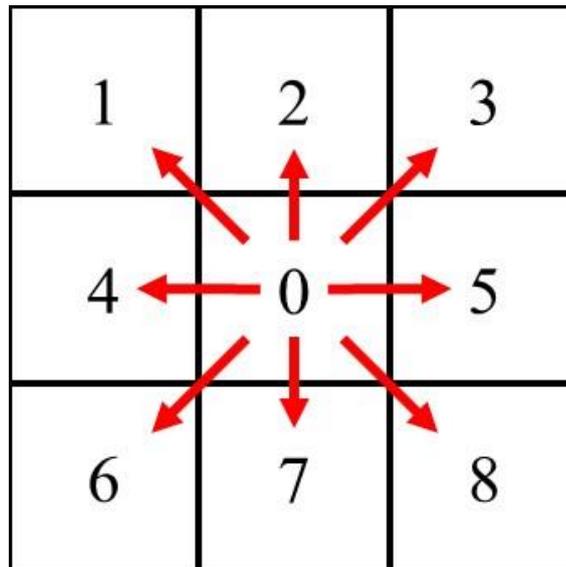
Figura 11: Divisão do campus em quadrantes



Fonte: Modificado de DEPRO (2019)

O direcionamento da água poderia seguir oito caminhos, partindo do zero e indo para as outras oito posições, conforme é mostrado na Figura 12. Para tanto, foi calculado a inclinação de cada ponto em relação aos oito pontos possíveis de escoamento.

Figura 12: Possíveis direcionamento do fluxo do escoamento



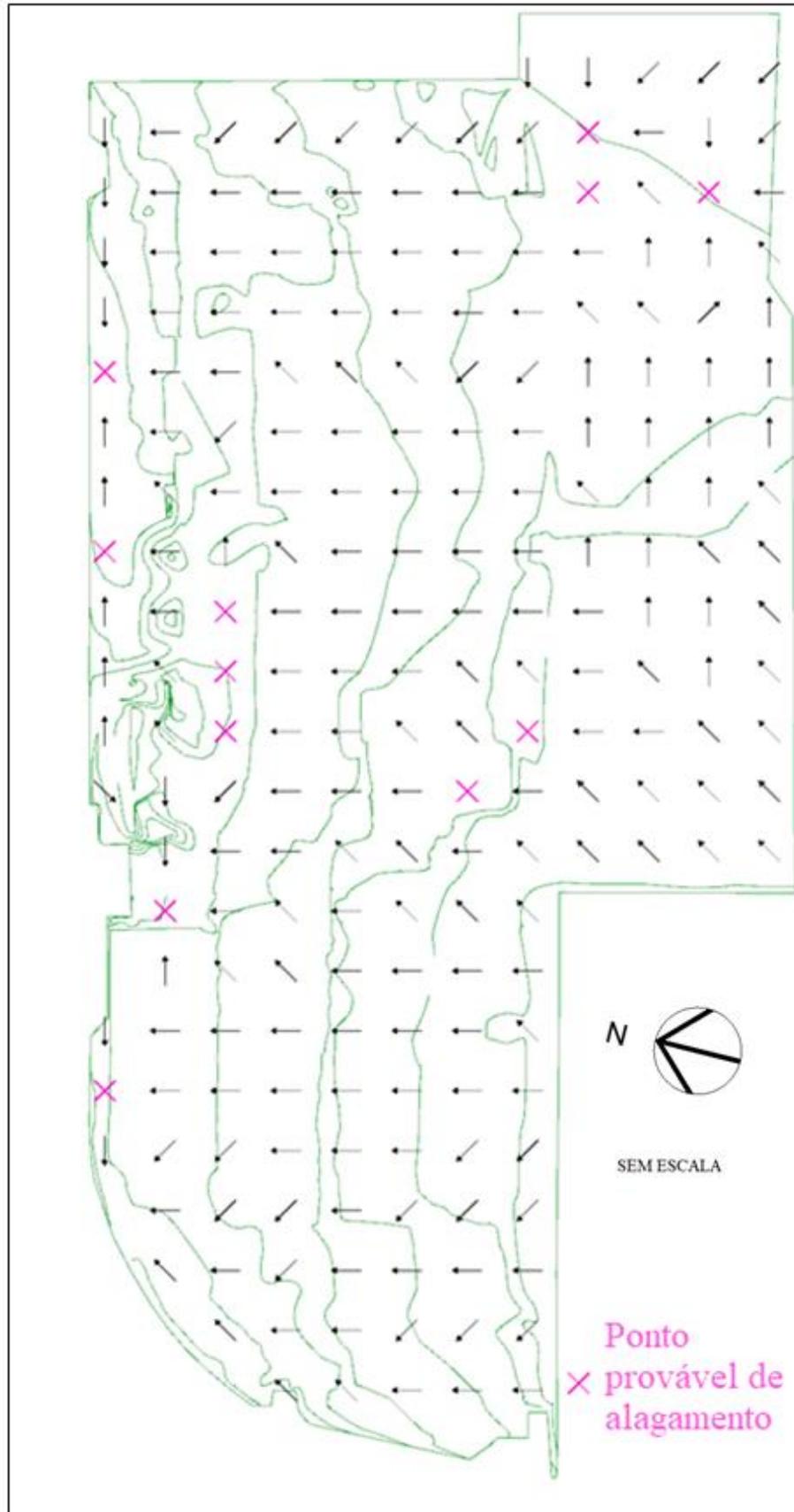
Fonte: Autora (2019)

O cálculo da inclinação seguiu a equação 3 e o sentido da seta seguiu a maior das 8 inclinações. Quando todas as oito inclinações deram menor ou igual a zero foi considerado o ponto analisado um ponto de risco de ocorrência de alagamento e esses pontos foram sinalizados no mapa de fluxo de escoamento superficial (Figura 13) com um X

$$i_n = \frac{Cota_0 - Cota_n}{L} \frac{m}{m} \quad (3)$$

Sendo que i_n é o índice relativo a direção da seta, que varia de 1 a 8; L é a distância entre os centros dos quadrados que dividem a área de estudo, se a direção era 2,4,5 e 6 foi utilizado $L = 20 \text{ m}$ e se 1, 3, 6 e 8 foi utilizado $L = 28,28 \text{ m}$.

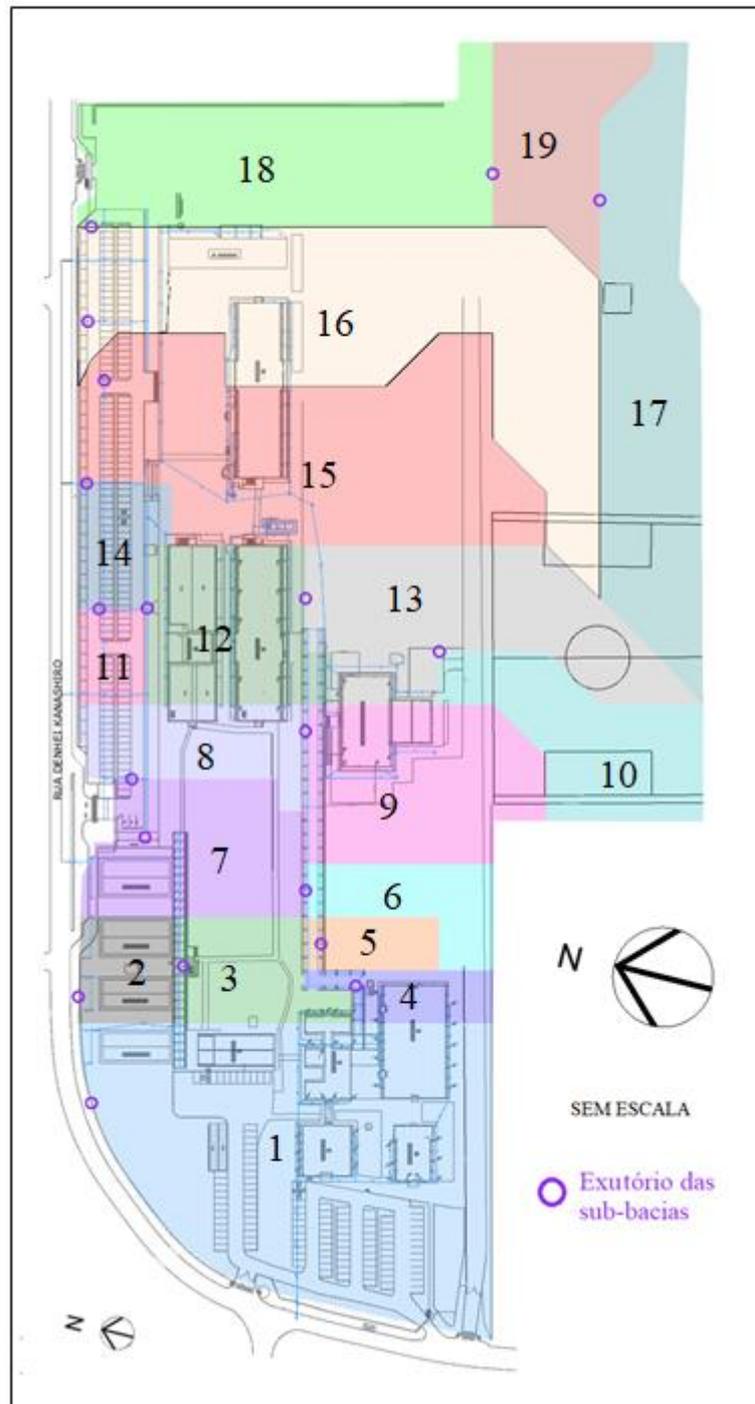
Figura 13: Diagrama de fluxo do escoamento superficial



Fonte: Modificado de DEPRO (2019)

A análise do fluxo da água foi realizada através das setas presentes na Figura 13, foi possível observar que setas de uma área convergiam para um ponto, o exutório da sub-bacia, ou seja, dividiu-se a região de estudo em várias sub-bacias. Essas sub-bacias estão representadas pela Figura 14 e foram essas sub-bacias desenhadas no SWMM para a realização da simulação.

Figura 14: Divisão das sub-bacias



Fonte: Modificado de DEPRO (2019)

4.3. ANÁLISE DO USO DO SOLO

O estudo do uso e ocupação do solo da universidade foi realizado com a finalidade de determinar a Curva Número da região de estudo, de todo o campus, e a Curva Número de cada sub-bacia, determinada anteriormente. Através da imagem aérea do *Google Earth* (Figura 15) foi identificado quatro usos principais do campus: pavimento intertravado e paralelepípedos, em trama rosa; áreas permeáveis, sem trama; solo e brita, em trama marrom; e áreas impermeáveis, em trama amarela.

Figura 15: Uso do solo do Campus



Fonte: Modificado de *GOOGLE EARTH* (2019)

Sabendo que o solo de Apucarana é do tipo D, da classificação hidrológica do solo, utilizou a Tabela 1 que se encontra no referencial deste trabalho (página 19), para a identificação dos CN de cada utilização do solo. Com o aplicativo *Google Earth* foi mapeado a área de influência de cada uso do solo e através de uma média ponderada foi encontrado os CN do campus e os CN das sub-bacias.

O coeficiente CN da UTFPR foi calculado conforme a Tabela 6, ele é formado pela média ponderada dos coeficientes de cada área de cada uso e é igual a 83,65.

Tabela 6: CN de todo o campus UTFPR – Apucarana

Uso do solo	A (m ²)	CN	CN médio
Áreas impermeáveis	14637	98	15,90
Solo/brita	9185	89	9,06
Pavimento intertravado e paralelepípedos	8938	91	9,02
Áreas permeáveis	57443	78	49,67
UTFPR	90203		83,65

Fonte: Autora (2019)

O uso do solo de cada sub-bacia foi calculado com os mesmos quatro usos do solo e suas características são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Características das sub-bacias utilizadas no SWMM

ID	Área (ha)	C _{máx} (m)	L (m)	Cota maior (m)	Cota menor (m)	Declividade (%)	CN	% Imp.
1	1,44	174,02	82,97	834,9	829,96	2,84%	86,91	32%
2	0,15	48,24	31,13	831,86	829,96	3,94%	88,76	54%
3	0,21	66,97	31,29	834,76	831,92	4,24%	82,23	15%
4	0,12	53,18	22,20	836,4	834,82	2,97%	90,47	49%
5	0,10	45,35	22,30	835,89	834,32	3,46%	87,66	6%
6	0,18	76,41	23,79	836,4	834	3,14%	87,14	2%
7	0,39	67,09	58,24	833,71	830,1	5,38%	83,71	22%
8	0,25	70,77	34,73	832	830,66	1,89%	86,10	22%
9	0,49	96,16	50,78	836,2	832	4,37%	85,14	22%
10	0,38	117,61	32,12	836,2	834,14	1,75%	78,54	0%
11	0,09	40,2	23,00	830,34	829	3,33%	88,12	0%
12	0,38	78,19	48,15	833,07	830	3,93%	94,60	83%
13	0,60	153,96	38,88	835,71	831,81	2,53%	81,01	6%
14	0,14	52,31	27,33	830	828	3,82%	86,56	0%
15	1,07	176,52	60,35	835,07	827,97	4,02%	82,65	5%
16	1,19	217,98	54,77	835,22	827,89	3,36%	82,47	12%
17	0,77	193,9	39,69	835,71	833,03	1,38%	78,39	2%
18	0,75	165,4	45,41	833,54	828,34	3,14%	77,75	1%
19	0,34	77,86	43,41	833,75	833	0,96%	78,00	0%

Fonte: Autora (2019)

Na tabela, a largura da bacia é dada pela área dividida pelo comprimento máximo (C_{máx}). A declividade é calculada através da subtração das cotas divididas pelo comprimento

máximo. O CN e porcentagem de impermeabilização com os usos do solo de cada bacia. Os coeficientes encontrados são coerentes com o uso do solo, já que quanto mais impermeáveis mais próximos de 100 são os CN. A sub-bacia que possui o maior CN é a de ID 12, possui em boa parte de sua área os blocos L e M do campus, como pode ser observado na Figura 14 e o de menor CN é a sub-bacia de ID 18, bacia formada com grande parte da área de gramado.

4.4. ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO

A chuva de projeto foi determinada com a utilização da equação da chuva de Apucarana, expressão que representa a Curva IDF. Na chuva de projeto foi adotado intervalo de tempo de 10 minutos e uma chuva com duração total de três horas. A tabela da chuva de projeto é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8: Determinação da chuva de projeto

t (horas)	t (m)	i (mm/h)	I_{ac} (mm)	I_t (mm)
00:10:00	10	117,311	19,5519	19,55
00:20:00	20	88,5477	29,5159	9,96
00:30:00	30	71,7683	35,8842	6,37
00:40:00	40	60,6841	40,4561	4,57
00:50:00	50	52,7743	43,9786	3,52
01:00:00	60	46,8239	46,8239	2,85
01:10:00	70	42,172	49,2007	2,38
01:20:00	80	38,4274	51,2366	2,04
01:30:00	90	35,3431	53,0146	1,78
01:40:00	100	32,7548	54,5913	1,58
01:50:00	110	30,5493	56,0071	1,42
02:00:00	120	28,6457	57,2914	1,28
02:10:00	130	26,9845	58,4665	1,18
02:20:00	140	25,5212	59,5495	1,08
02:30:00	150	24,2215	60,5539	1,00
02:40:00	160	23,0589	61,4904	0,94
02:50:00	170	22,0122	62,3678	0,88
03:00:00	180	21,0644	63,1932	0,83

Fonte: Autora (2019)

Na Tabela 8 foi calculado a intensidade da chuva, i , a cada período. Com essa intensidade foi calculada a lâmina de água acumulada, I_{ac} , multiplicando a intensidade de chuva

pela sua duração. Com essa lâmina de água acumulada foi calculado o acréscimo de lâmina, I_t , a cada período, retirando a lâmina de água acumulada referente ao tempo t da lâmina acumulada referente ao tempo $t + 1$.

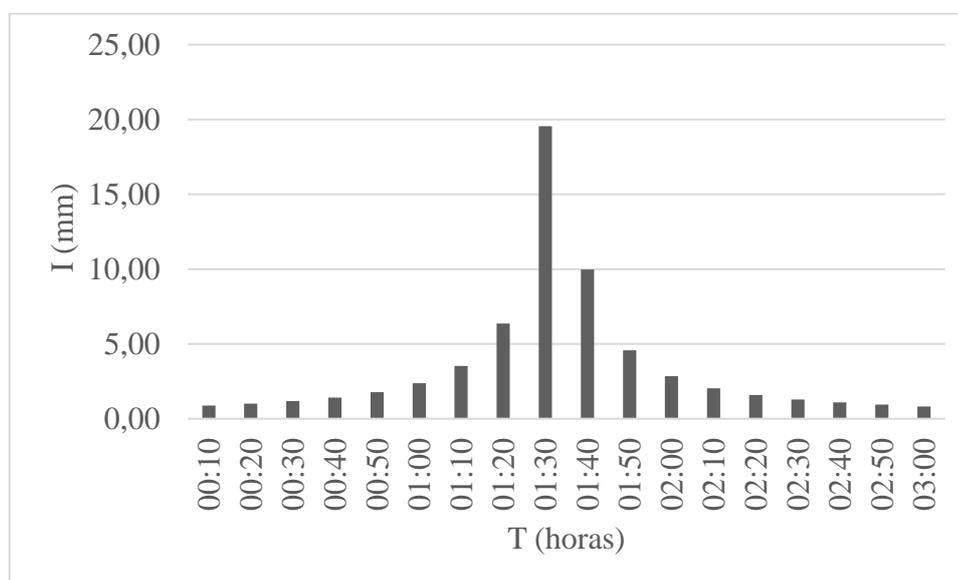
Entretanto, os resultados obtidos em I_t ainda não representavam uma precipitação de projeto, pois através de estudos (Tucci, 2005) a maior intensidade ocorre concentrada no centro da duração da precipitação. Assim foi aplicado o Método dos Blocos Alternados, conforme Mélo Junior e Bonnacarrere ([S.I]), para simular uma condição mais real de precipitação, determinando a chuva de projeto apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Dados da chuva de projeto

T (h)	I (mm)
00:10	0,88
00:20	1,00
00:30	1,18
00:40	1,42
00:50	1,78
01:00	2,38
01:10	3,52
01:20	6,37
01:30	19,55
01:40	9,96
01:50	4,57
02:00	2,85
02:10	2,04
02:20	1,58
02:30	1,28
02:40	1,08
02:50	0,94
03:00	0,83
I (mm)	63,19

Fonte: Autora (2019)

Com a tabela, pode-se organizar a precipitação total de estudo, sendo os maiores valores posicionados no centro da duração total da chuva, e os restantes sejam dispostos em ordem decrescentes, com uma duração total de 3 horas. Essa chuva calculada foi ainda representada na forma de gráfica, conforme o Gráfico 3, denominada de hietograma de chuva.

Gráfico 3: Hietograma da chuva de projeto

Fonte: Autora (2019)

A precipitação de projeto possui o valor de intensidade total de precipitação de 63.19 mm, estando dentro das precipitações históricas máximas que ocorreram em Apucarana, possibilitando uma simulação próximo a um evento real.

4.5. ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DO SOFTWARE

Para avaliar o comportamento hidráulico do sistema de drenagem foi simulado um evento com a chuva de 3 horas de duração e com as características mostradas pelo hietograma demonstrado no Gráfico 3. As características de projeto adotada, foram as observadas nos projetos disponíveis pelo DEPRO, as caixas de passagem com profundidade de 0,5 m, os bueiros com profundidade de 0,9 m, os ralos de passagem situados na passarela com 0,4 m de profundidade e os poços de visita com profundidades variadas conforme o projeto. Os comprimentos e materiais adotados na ferramenta computacional também estavam especificados nos projetos.

A simulação com foi realizada com sucesso e possuiu erros de escoamento superficial de 0,48% e de propagação de vazão de 0,32%. Ou seja, baixos erros durante a realização do ensaio. No total foram dispostas 19 sub-bacias, como já havia sido antes da simulação; 74 conexões, entre caixa de passagem, ralos, bueiros e junções de tubulações; e 77 condutos.

Um dos primeiros resultados do software são referentes às sub-bacias (Tabela 10). O SWMM apresenta uma tabela resumo, com os dados de precipitação recebidos por cada bacia, a infiltração e o escoamento total gerado por cada bacia.

Tabela 10: Síntese dos dados das sub-bacias

Sub-bacia	Precipitação Total (mm)	Afluentes de outras sub-bacias (mm)	Infiltração Total (mm)	Escoamento total (mm)
1	62.80	0	16.17	40.37
2	62.79	50.88	9.78	101.06
3	62.79	0	21.97	36.9
4	62.80	0	9.57	50.52
5	62.80	0	21.42	36.75
6	62.80	0	23	33.42
7	62.80	0	21.57	37.28
8	62.79	0	19.35	38.31
9	62.80	0	20.27	37.68
10	62.79	0	32.97	20.42
11	62.80	0	22.16	35.83
12	62.80	0	2	59.18
13	62.80	12.51	28.73	34.9
14	62.80	0	24.22	33.38
15	62.80	0	27.39	26.56
16	62.80	0	25.55	27.85
17	62.80	0	32.44	17.75
18	62.80	22.48	33.35	36.78
19	62.80	39.97	33.46	52.19

Fonte: Autora (2019)

Na Tabela 10 são observados os dados de entrada de água pluvial nas bacias nas colunas de Precipitação e de Afluentes. A coluna de Precipitação mostra os dados de água pluvial advinda da precipitação em si, já a coluna de Afluentes apresenta os valores de água pluvial advindas de escoamento superficial de outras bacias. Pode se analisar nesse resumo que as bacias com menor Infiltração Total são as que possuem alta taxa de impermeabilização.

Outro dado fornecido pelo relatório de simulação é a tabela que apresenta os nós do sistema que sofreram inundações. Sendo inundações referentes a toda a água que transborda um nó, alagando ou não. Na simulação 10 conexões sofreram inundações, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11: Nós inundados durante a simulação

Nó	Tempo de Inundação (h)	Vazão máxima (L/s)	Instante de máxima ocorrência (h:m)	Volume total inundado (L)	Profundidade máxima de alagamento (m)
N1	2.44	220.37	1:40	0.515	0.1
N2	2.6	71.32	1:40	0.203	0.1
N6	2.34	46.62	1:42	0.110	0.4
N7	2.6	67.66	1:40	0.143	0.1
N16	1.94	139.25	1:50	0.569	0.9
N25	1.55	35.48	1:40	0.075	1.5
N29	1.55	5.56	1:27	0.009	0.9
N87	0.05	3.72	1:40	0.000	0.2
N152	0.61	58.21	1:40	0.062	0.2
N184	2.43	86.31	1:50	0.358	0.2

Fonte: Autora (2019)

Foi observado então através do mapa de estudo a localização dos trechos de tubulações que continham os nós apresentados na Tabela 11 e foi executado o perfil longitudinal de cada trecho para a análise do motivo das inundações.

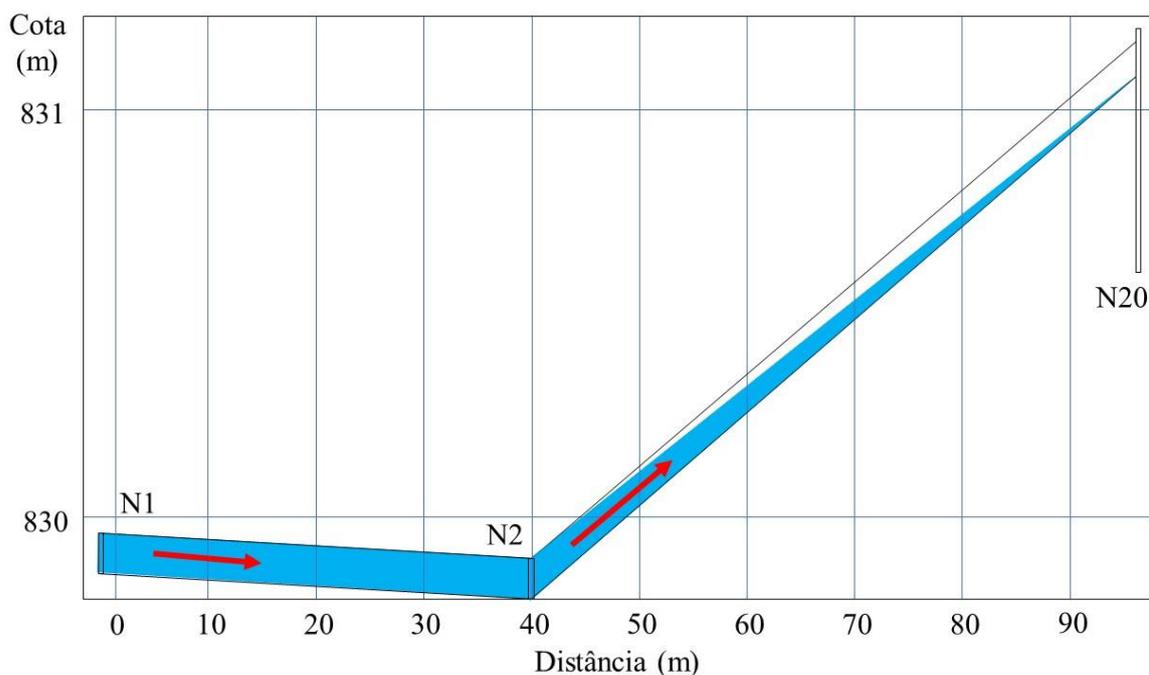
Observou-se que os nós N6, N87, N152 e N184 as cotas foram aproximadas, todas essas conexões estão localizadas na passarela de passagem que liga os blocos na frente da universidade com os próximos ao Restaurante Universitário, local onde não havia informações dos projetos. Nesses nós não foi possível confirmar se a declividade dos condutos que transferiam a carga desses nós era negativa, ou seja, se estavam transportando a água pluvial de uma cota mais baixa para a mais elevada.

As outras conexões que apresentaram problemas de inundação possivelmente possuem problemas construtivos, a maior parte delas está localizada nas obras de drenagem do

estacionamento do campus e como já foi observado na seção em que foi realizado o mapa hipsométrico do campus esses problemas se dão devido à falta de nivelamento e obras de terra executadas nesse local.

As conexões que apresentaram inundações e não estão no estacionamento são as conexões N1 e N2, que estão no sistema de captação da sub-bacia 1 e 2. Essas também foram executadas de forma incorreta. A Figura 16 mostra o perfil longitudinal da tubulação que passa pelos pontos N1 e N2. O fluxo do escoamento segue o sentido de N1-N2-N20, mas como o ponto N20 possui uma cota altimétrica maior que as de N1 e N2 o fluxo do escoamento é interrompido, já que a água não consegue escoar naturalmente de um ponto mais baixo para um mais alto, sendo a causa do alagamento dos nós N1 e N2.

Figura 16: Perfil longitudinal de N1 a N20



Fonte: Autora (2019)

4.6. PROPOSIÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM ALTERNATIVA

Com o resultado dos testes de infiltração, o mapeamento hipsométrico, o mapeamento do fluxo do escoamento e os resultados foi possível propor possíveis modificações no sistema de drenagem para reduzir ou sanar os problemas de inundação ocorridos no campus Apucarana da UTFPR.

Com o mapeamento hipsométrico e com a execução da simulação do comportamento do sistema de drenagem foi possível perceber que a irregularidade do terreno do estacionamento próximo ao bloco M, na parte mais baixa do campus e que ao receber a maior parte do fluxo do escoamento pluvial do campus acaba por prejudicar o funcionamento das suas redes de drenagem. Um exemplo do mau funcionamento de suas redes foi registrado por Jabur et al. (2018)

Figura 17: Problemas de sobrecarga no estacionamento inferior do campus

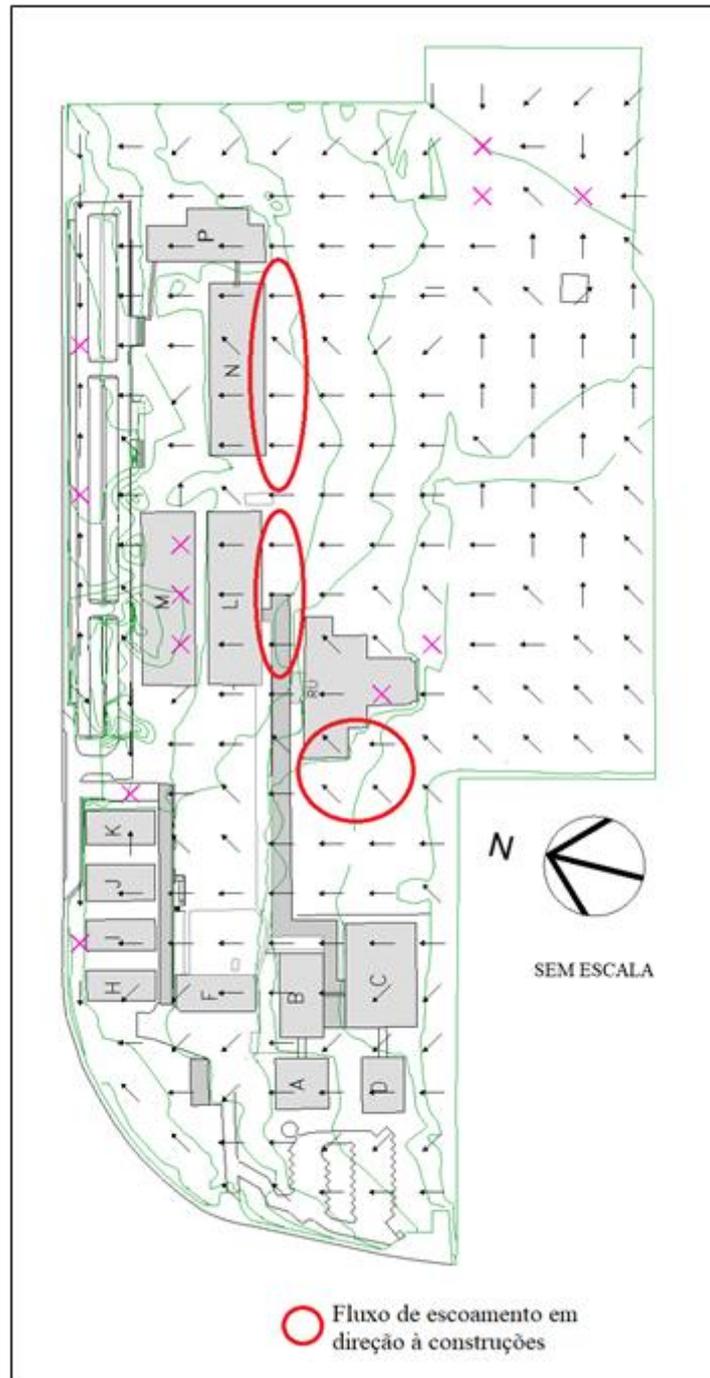


Fonte: JABUR et al. (2018)

Uma proposição para reduzir o impacto causado pelo excesso de água nesse sistema de drenagem é inserir a montante outros dispositivos de drenagem que acabem reduzindo o volume de água que chega nesse local, diminuindo a sobrecarga de água nesse local durante eventos de chuvas intensas.

Outros locais que sofrem com a sobrecarga de água são os blocos L, N e o Restaurante Universitário (RU). Essa sobrecarga é muito perceptível no mapeamento do fluxo de água (Figura 18). Esses fluxos de água pluvial são interrompidos pelas construções, podendo aumentar a recorrência de alagamento nas proximidades das construções ou até invadirem as construções.

Figura 18: Possíveis pontos de alagamento na área de estudo



Fonte: Modificado de DEPRO (2019)

Essas possibilidades de sobrecargas nesses locais são corroboradas com as imagens (Figura 19) realizadas por Jabur et al. (2018) durante eventos de chuvas intensas em 2014 e 2018 que ocasionaram no acúmulo de água próximas às regiões indicadas pela Figura 18.

Figura 19: Registro de alagamento no campus em 2018



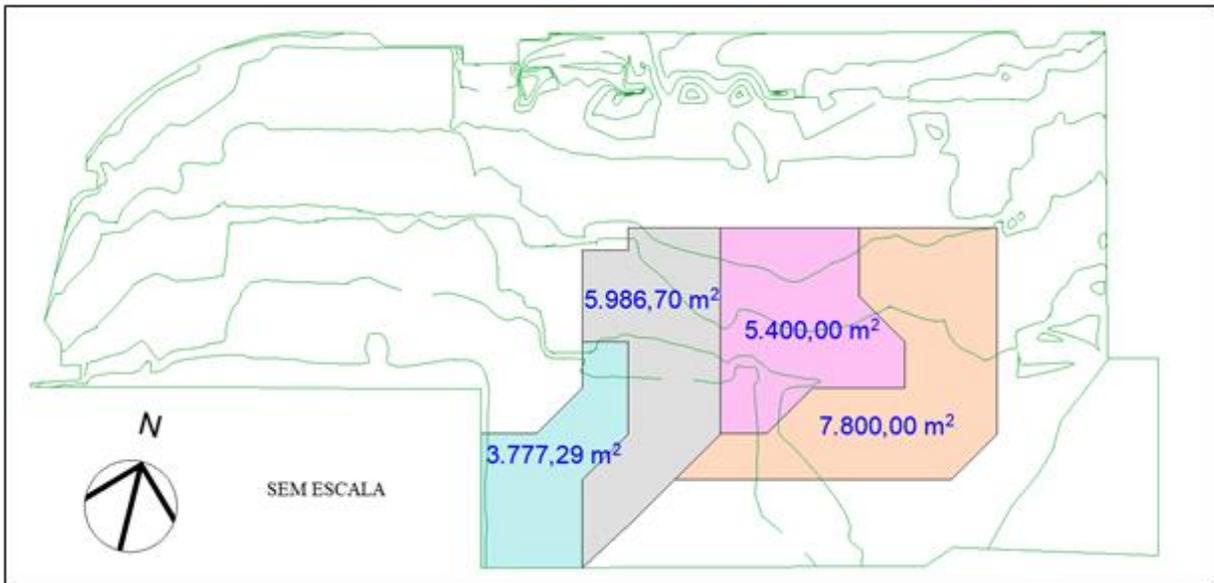
Fonte: Jabur et al. (2018)

Para a escolha da medida compensatória de controle na fonte que pode ser aplicada na área de estudo e que auxilie na drenagem no campus, reduzindo a probabilidade de alagamento foi utilizado alguns dos critérios condicionantes estabelecidos por Silveira (2002) para a escolha do método compensatório: a área de contribuição, a capacidade de infiltração do solo, declividade e consumo de espaço.

Para suprir tanto a diminuição da quantidade de água escoada para o estacionamento quanto para os pontos de sobrecarga que ocorrem devido o fluxo de água ir no sentido das construções será proposto a medida acima dos blocos L e N.

O dispositivo terá como área de contribuição máxima a soma das áreas das sub-bacias 10, 13 e parcialmente das sub-bacias 15 e 16, como mostra a Figura 20. A soma das áreas resulta em uma área de contribuição máxima de 2,3 ha, aproximadamente. As medidas de controle para áreas de contribuição de 0 a 2 ha de contribuição propostas por Silveira são: o pavimento poroso, trincheira de infiltração, vala de infiltração, poço de infiltração e bacia de retenção dependendo de condições específicas para implantação, bacia subterrânea e faixa gramada.

Figura 20: Área máxima de contribuição do dispositivo



Fonte: Modificado de DEPRO (2019)

Considerando que a capacidade de infiltração varia conforme a umidade do solo, que o solo de Apucarana é argiloso e que possui uma velocidade de infiltração relativamente baixa, Silveira (2002) alerta para o uso de Medidas de Controle (MCs) que utilizam a infiltração, priorizando o uso de bacias de retenção e detenção e faixas gramadas.

Declividades acima de 5% acabam por interferir nas Medidas De Controle (SILVEIRA, 2002). Como a declividade de todas as sub-bacias do campus são abaixo de 5%, essa medida não interfere na escolha das MCs.

Alguns espaços são densamente ocupados o que impede que se utilize alguns tipos de Medidas de Controle. Na região de estudo em que foi proposta a disposição da MC, não há problema de ocupação, são áreas amplas de gramado, o que não impede o uso de qualquer uma das MCs.

Portanto, levando em consideração as características da redução do pico de vazão no estacionamento, a área de contribuição, o tipo de solo de Apucarana, a declividade e o consumo de espaço e que já possui a área gramada, mas que essa não supre a infiltração necessária para não haver sobrecarga nas redes, a melhor opção de Medida de Controle são a bacia de detenção ou a bacia de detenção subterrânea, segundo os critérios de Silveira (2002)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas das grandes cidades se desenvolveram ao longo do tempo sem planejamento do uso e ocupação do solo e alteraram o meio tornando-o cada vez mais impermeável. Essa impermeabilização impacta em dois dos componentes do ciclo hidrológico: a infiltração e a evapotranspiração, consequentemente, afetando o escoamento superficial. A impermeabilização gera, então, um acréscimo na taxa de escoamento superficial, que é originado principalmente das parcelas não infiltradas no solo e das não absorvidas pelas plantas, devido à impermeabilização.

As primeiras formas de drenagem urbana objetivavam o afastamento rápido das águas urbanas, pois na época eram vistas como vetores de doenças pelos conceitos europeus sanitaristas. Mas, com o uso desse sistema e o contínuo crescimento das cidades, entendeu-se que esse tipo de drenagem acabava por prejudicar as áreas a jusante do sistema de drenagem, causando erosão e assoreamento nos corpos hídricos, problemas de inundações e saúde pública.

Como alternativa surgiram as primeiras formas de drenagem com o conceito de compensar a impermeabilização realizada nas cidades. As *Best Management Practices* (BMPs) tinham como objetivo o controle do escoamento na bacia por meio de estruturas de armazenamento ou infiltração no solo e as técnicas de *Low Impact Development* (LID) priorizava a drenagem natural e a infiltração por meio de áreas verdes como medida de amortecimento do escoamento no local.

Atualmente essas técnicas alternativas de drenagem em conjunto com ferramentas computacionais atualizam e complementam os antigos projetos de drenagem. Softwares como o SWMM, simulam o comportamento hidráulico dos dispositivos de drenagem e destacam prováveis pontos de falhas nas redes, sendo possível através da análise dos resultados propor medidas de manutenção ou alternativas de drenagem

Assim como nas cidades, o crescimento no campus Apucarana da UTFPR dá origem a novas áreas construídas e impermeáveis em seu terreno e em seu entorno. Na universidade observou-se que em alguns locais, em período de chuvas intensas, houve alagamentos. Dessa forma, o campus foi escolhido como área de estudo de caso, foram identificados os pontos da rede com sobrecarga, as possíveis causas dessa sobrecarga e foram realizadas propostas de melhorias do sistema de drenagem pluvial, com auxílio de ferramenta computacional.

Esse estudo do campus consistiu na análise das características topográficas, de infiltração, precipitação e dos resultados obtidos no SWMM da simulação do sistema de drenagem. A chuva de projeto utilizada para simular o comportamento hidráulico do sistema

de drenagem na ferramenta computacional SWMM, foi calculada conforme a equação de chuvas intensas da cidade de Apucarana e seguiu uma intensidade dentro das históricas que já ocorreram na cidade.

As características de infiltração foram obtidas através do ensaio de infiltração realizados em dois pontos do campus, sendo que o primeiro teste não obteve resultados congruentes para o tipo de solo, mas o segundo apresentou taxas de infiltração menores, mais compatíveis ao solo argiloso de Apucarana. A infiltração também foi caracterizada com o cálculo do CN da universidade e suas sub-bacias, apresentando valores maiores para áreas com maior porcentagem de áreas impermeáveis.

A análise da topografia foi realizada com auxílio dos mapas hipsométrico e de direção de fluxo de escoamento superficial elaborados através das curvas de nível disponíveis no projeto topográfico do campus. Com esses mapas foi possível identificar uma das possíveis causas de alagamentos no estacionamento inferior do campus. A sobrecarga nesse ponto é ocasionada por uma falta de nivelamento no estacionamento, que não foi executado conforme o projeto e acabou por afetar o funcionamento das redes de drenagem desse local. O problema de sobrecarga nessas redes ainda ampliado, já que boa parte do escoamento superficial e da drenagem do campus é direcionada para esse ponto, o mais baixo da região de estudo. O problema de execução de projeto no estacionamento também foi observado pelas conexões que sofrem alagamento durante a simulação no SWMM.

Com o mapa de fluxo de escoamento superficial foi ainda identificado os pontos em que o escoamento é interrompido por construções, representando um aumento na probabilidade de alagamentos nessas regiões.

Como proposta para minimizar os problemas de alagamento no estacionamento inferior e nos pontos de alagamento próximo as construções, foi proposto a inserção de uma bacia de retenção ou bacia de retenção subterrânea. Os critérios para a determinação dessa medida de controle foram obtidos através de revisão da bibliografia.

Para a continuidade do estudo da aplicação da medida de controle no sistema de drenagem do campus Apucarana da UTFPR, propõe-se a realização do projeto da bacia de retenção ou da bacia de retenção subterrânea e a simulação do sistema de drenagem com a adição desse sistema alternativo, para assim analisar se houve modificações relativas aos eventos de alagamento.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3385**: Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double-Ring Infiltrometer. West Conshohocken, 2003. 8 p.
- APUCARANA. Prefeitura Municipal de Apucarana. Secretaria de Obras de Apucarana e Secretaria do Meio Ambiente de Apucarana. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: Caderno 1 - Diagnóstico. Apucarana: Prefeitura Municipal de Apucarana, 2017. 164 p.
- BATISTA, José Anderson do Nascimento; BOLDRIN, Andressa Juliana. Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.I.], v. 23, n. 2, p.263-273, mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018170663>.
- CARVALHO, Daniel F.; MELLO, Jorge L. P.; SILVA, Leonardo D. B. da. **HIDROLOGIA**. [S.I.]: UFRRJ, 2007. 86 p.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: IPH UFRGS, 2008. 151 p.
- CRUZ, Marcus A. S.; SOUZA, Christopher Freire; TUCCI, Carlos E. M. CONTROLE DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL: AVANÇOS E MECANISMOS PARA SUA SUSTENTABILIDADE Marcus A. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ABRH, 2007. p. 1 - 18.
- CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p.59-71, set. 2008.
- DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. **Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas**. São Paulo: FEHIDRO, 2005.
- DAL-PRÁ, Leoni Lúcia. **Drenagem Urbana**. [S.I.]: CREA - PR, 2016. 30 p.
- DEPRO, Departamento de Projetos e Obras – UTFPR Apucarana. Projetos de topografia, de instalações hidrossanitárias e de drenagem do campus. Informações cedidas por correio eletrônico. 2019.
- GARRIDO NETO, Pedro de Souza. **Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva**: Projeto de dois protótipos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil. 2012. 177 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- GOOGLE. GOOGLE EARTH. Versão 7.3.2. 2019. Campus Apucarana da UTFPR. Acesso em: 20 mai. 2019
- IAPAR (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ). **Atlas Climático do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>>. Acesso em: 27 maio 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil - Mapas Físicos e Ambientais**. Disponível em: <<https://arcg.is/1LTXY1>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

IBGE. Agência IBGE Notícias (Ed.). **MUNIC 2013: enchentes deixaram 1,4 milhão de desabrigados ou desalojados entre 2008 e 2012**. 2014. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14601-asi-munic-2013-enchentes-deixaram-14-milhao-de-desabrigados-ou-desalojados-entre-2008-e-2012>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

JABUR, Andrea Sartori et al. **Elaboração Do Plano Diretor de Drenagem Pluvial Urbana Para um Câmpus Universitário (PDDrU)**. In: Congresso Luso-Brasileiro Para O Planejamento Urbano, Regional, Integrado E Sustentável, 8., 2018, Coimbra. **Anais...** . Coimbra: Pluris 2018, 2018. p. 902

JABUR, Andrea Sartori; FAGANELLO, Adriana Macedo Patriota. **RESÍDUOS SÓLIDOS E A PROBLEMÁTICA DAS ENCHENTES URBANAS: ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE APUCARANA**. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8., 2017, Curitiba. **Anais...** . Curitiba: Instituto Venturi, 2017. p. 1 - 9.

JABUR, Andrea Sartori; GASPARINI, Romulo Ruiz. **AVALIAÇÃO DA DRENAGEM PLUVIAL URBANA NA CIDADE DE PATO BRANCO / PARANÁ**. **Synergismus Scyentifica UTFPR**, Pato Branco, v. 2, n. 1, p.1-4, jan. 2007. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/131>>. Acesso em: 2 abr. 2019.

JACOB, Ana Caroline Pitzer. **BMP, LID, SUDS, WSUD e infraestrutura verde – práticas que revolucionam a drenagem urbana**. 2015. Disponível em: <<http://www.aquafluxus.com.br/bmp-lid-suds-wsud-e-infraestrutura-verde-praticas-que-revolucionam-a-drenagem-urbana/>>

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. de C. T. **Análise de episódios de alagamentos e inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal**. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 10 – Vol. 15 – JUL/DEZ 2014. Disponível em <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=81&PUBLICACAO=SIMPOSIO>

MANOSSO, Fernando César. **Geoturismo: uma proposta teórico-metodológica a partir de um estudo de caso no município de Apucarana-PR**. **Caderno Virtual de Turismo**, [rio de Janeiro], v. 2, n. 7, p.47-56, ago./dez. 2007. Quadrimestral. Disponível em: <<http://www.ivt.coppe.ufrj.br/caderno/index.php/caderno/article/view/182>>. Acesso em: 25 maio 2019.

MANOSSO, Fernando Cesar. **O estudo da paisagem no município de Apucarana – PR: As relações entre a estrutura geoecológica e a organização do espaço**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?**. Jul. 2012. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/gestaodrenagem.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2019.

MCCUEN, Richard H. **Hydrologic Analysis and Design**. 2. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 1998. 833 p.

MÉLLO JUNIOR, Arisvaldo V.; BONNECARRERE, Joaquin I. **Precipitações: Chuvas intensas**. São Paulo: [S.I.]. 28 slides, color.

MITSUISHI, John Hiroshi et al. **Controle de inundações por ações nos lotes**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Hidráulica e Sanitária, 2006. 12 p.

MOURA, Priscilla Macedo. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PAIXÃO, Francisco J. R. da et al. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, [S.I.], v. 2, n. 1, p.107-112, jan. 2009.

PINTO-COELHO, Ricardo Motta; HAVENS, Karl. **Crise nas Águas: Educação, ciência e governança, juntas, evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas**. Belo Horizonte: Recóleo: Coleta e Reciclagem de Óleo Vegetal, 2015.

POLETO, Cristiano. SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica. **Revista Thema**, Pelotas, v. 8, n. 1, p.1-12, 2011.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.i.], v. 5, n. 1, p.15-24, jan/mar 2000.

PREFEITURA DE APUCARANA (Município). Lei Complementar nº 003, de 19 de dezembro de 2014. **Plano Diretor Municipal de Apucarana**. Apucarana, PR. [revolucionam-a-drenagem-urbana/>](#) Acesso em 25 ago. 2019.

ROSSMAN, Lewis A. **Manual do usuário: EPA SWMM 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana**. Tradução de Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). João Pessoa, 2012. 280 p. Disponível em: < <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/>>

ROVERI, Silas Daniel; PASSOS, Cristhiane Michiko; VALLE, Roselli Aparecida do. Análise da aplicação de LID em uma região do município de Maringá-PR. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS - ENAU, 10., 2014, São Paulo. **Anais...** . Maringá: Abrh, 2014. S>. Acesso em 12/04/2019.

SÁ JÚNIOR, Arionaldo de. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3076/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Aplica%C3%A7%C3%A3o%20da%20classifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20K%C3%B6ppen%20para%20o%20zoneamento%20clim%C3%A1tico%20do%20estado%20de%20Minas%20Gerais.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

SÃO PAULO. Carlos Lloret Ramos. Prefeitura do Município de São Paulo. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1999. 289 p.

SARTORI, Anderson. **Desenvolvimento de Critérios para Classificação Hidrológica de Solos e Determinação de Valores de Referência para o Parâmetro CN**. 2010. 237 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SILVA JUNIOR, Marcos Antonio Barbosa da et al. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife - PE. **RBRH**, [S.I.], v. 22, n. 19, jan. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716040>.

SILVEIRA, André Luiz de Lopes da. **Drenagem Urbana: Aspectos de gestão**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Ufrs, 2002. 70 p.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. Gestão da Drenagem Urbana No Brasil: Desafios para a Sustentabilidade. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, [s.i.], v. 1, n. 1, p.57-72, 2013. Semestral.

SUDERHSA. PARANÁ. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Mapa de chuvas intensas 1998. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/pagina-73.html>>. Acesso em: 15 out. 2019.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. [Guarulhos]: [S.I.], 2002. 452 p.

TUCCI, Carlos E. M. **Drenagem Urbana**. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 55, n. 4, p.36-37, dez. 2003. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 26 mar. 2019.

TUCCI, Carlos E. M.. **Plano Diretor De Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Asdf, 2005. 223 p.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos (Org.). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 156 p.

VINAGRE, Marco Valério de Albuquerque; LIMA, Alberto Carlos de Melo; LIMA JUNIOR, Dickson Lopes de. Estudo do comportamento hidráulico da Bacia do Paracuri em Belém (PA) utilizando o programa Storm Water Management Model. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.I.], v. 20, n. 3, p.361-368, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000106515>.