

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

WENDEL MARCOS SABATINE MARIANO

**Urbanização e inundações: modelagem hidrológica de três cenários
distintos de uso e ocupação do solo na Bacia do Córrego do Pinheirinho,
Várzea Paulista, SP.**

Versão final

São Paulo

2021

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a saúde e permitir que eu viva as experiências que tenho vivido.

A meus pais, Miguel e Jovelina, infinita fonte de amor, inspiração e carinho, pelo esforço para que eu pudesse ser a primeira pessoa da minha família a se formar em uma graduação. Sinto que realizo o sonho dos dois, que não tiveram essa linda oportunidade. Agradeço também meu irmão, Wesley, por todo o amor e cuidado, e pelos ensinamentos que me passou em toda a minha vida, pelo companheirismo e pela certeza de que sempre posso contar com alguém para me ajudar.

Agradeço também minha namorada, Isabella, por todo o amor, carinho e suporte em todas as jornadas que passei e ainda passaremos nesta vida. Sua criatividade e otimismo me ajudam a ver o mundo e a minha própria vida de uma maneira mais bonita.

Agradeço meu orientador, o prof. Dr. Fernando Nadal, por aceitar o tema que propus, indicar os caminhos necessários para que eu alcançasse os resultados e também toda a disponibilidade durante ao processo.

Aos meus colegas de IPT, Gerson, Cláudio, Geraldo, Zeno, Márcia e Lucas, por todo o ensinamento e por me ajudarem a entrar no mercado de trabalho. Ainda agradeço ao Dr. Filipe Falcetta por me apresentar à modelagem hidrológica, indicando o caminho por onde eu pudesse aprender e também desenvolver minhas próprias ideias, além do companheirismo e disponibilidade para sanar as dúvidas.

Ao meu professor de Geografia do Ensino Médio, Juliano Ricardo Marques, que me disse “Faça o que você ama, assim você será o melhor”. Assim como meus eternos amigos de ETEC, Augusto, Derik, Douglas, Lucas e Jefferson.

E por último, agradeço aos meus eternos amigos da graduação, Edson, Henrique, Renata e Thiago, por todos os momentos vividos, desde o primeiro dia de aula, nos trabalhos de campo e em todos os outros momentos que virão.

RESUMO

Seja nas grandes ou pequenas cidades, eventos de inundação tendem a ocorrer cada vez com maior frequência, causando problemas financeiros para os moradores e também ao poder público, que geralmente adota medidas estruturais para sanar os danos causados. O controle destas *situações de desastre* são fundamentais para a gestão pública, que deve buscar inúmeras formas de se preparar ante um evento de inundação. Uma forma de gestão destes eventos é por meio da Modelagem Hidrológica, onde é possível fazer a estimativa dos índices de vazão e volume do escoamento superficial, providenciando os dados necessários para um maior controle da situação, além de indicar caminhos para melhorias estruturais. Neste trabalho, utilizou-se a Bacia do Córrego do Pinheirinho, em Várzea Paulista, São Paulo, para se estimar os dados hidrológicos a partir de três cenários distintos: Atual, onde os dados de uso e ocupação do solo refletem a realidade de 2021; o Cenário de Urbanização Intensificada, onde os dados advêm de uma simulação de um possível crescimento urbano do município; e o Cenário com Técnicas de Conservação, onde os dados de uso e ocupação do solo refletem uma cenário onde a gestão pública direcionou a cobertura do solo à fim de aumentar a infiltração d'água no solo e diminuir o escoamento superficial.

Palavras-chave: modelagem hidrológica, inundação, urbanização.

ABSTRACT

Flood events tend to happen in big cities and even in small ones, each time more and more frequently, causing financial problems to citizens and to the public power, that usually adopts structural measures to mitigate the damages. The control of these disaster situations is very important for the Public Management, which must seek countless ways to prepare for a flood event. One way of managing these events is through Hydrological Modeling, where it is possible to estimate the flow rate and volume of the runoff, providing the necessary data for greater control of the situation, besides indicating ways of structural improvement. In this work, the Corrego do Pinheirinho's basin was used to estimate the hydrological data, based on three different scenarios: Today's scenario, where data from land use reflect the reality from 2021; scenario with intensified urbanization, where data from land use were based on a simulation of population growth, respecting the reality from the city; and the scenario with conservation techniques, where data are also based on a simulation, but in this particular case the land use is guided by the public power in order to increase the water infiltration and decrease the runoff.

Key-words: Hydrological Model, floods, urbanization.

Lista de Figuras

Figura 1: Fluxograma para a produção da modelagem hidrológica. Fonte: IPT, 2017. Adaptado.....	15
Figura 2: Mapa de Localização da Área de Estudo. Fonte: Autor.	18
Figura 3: Cidade de Várzea Paulista na década de 60 - Presença de indústrias próximas à via férrea, localizada na planície do Rio Jundiaí. Fonte: Prefeitura de Várzea Paulista.	20
Figura 4: Compartimentação morfoestrutural da região de Jundiaí. Fonte: Neves (2003).	22
Figura 5: Mapa Geológico Simplificado da Região de Jundiaí. Fonte: Neves, 1999.	23
Figura 6: Modelo Digital de Elevação. Fonte: IGC, 1977. Fonte: Autor.....	25
Figura 7: Serra do Mursa, vista a partir da jusante. Fonte: Autor.....	28
Figura 8: Serra do Mursa, vista lateral. Fonte: Autor.	29
Figura 9: Serra do Mursa, vista superior. Fonte: Flávio Xavier.....	29
Figura 10: Vista geral para a Jusante da Bacia. Fonte: Flávio Xavier.	30
Figura 11: Mapa pedológico da área de estudo. Fonte: Rossi, 2017. Org: Autor.	33
Figura 12: Mapa das Sub bacias e zonas de contribuição difusa. Fonte: Autor.	35
Figura 13: Mapa da Hierarquia Fluvial. Fonte: Autor.	36
Figura 14: Ponto 1: Cachoeira Serra do Mursa. Fonte: Autor.....	40
Figura 15: Mapa de Localização do Ponto 2 e arredores. Fonte: Autor.....	41
Figura 16: Mapa de Localização do Ponto 3 e arredores. Fonte: Autor.....	42
Figura 17: Ponto 4: Rua Arnald Gut Junior. Fonte: Autor.	43
Figura 18: Mapa de Localização do Ponto 5 e arredores. Fonte: Autor.....	44
Figura 19: Ponto 6: Canal Retificado. Fonte: Autor.	45
Figura 20: Comparação entre eventos no Ponto 6: Na imagem acima (02/05/2020) uma estiagem de 35 dias. Imagem abaixo (29/03/2020), uma chuva convectiva de 44 mm. Fonte: Autor.	46
Figura 21: Mapa de Localização do Ponto 7 e seus arredores. Fonte: Autor. .	47
Figura 22: Evento registrado no dia 27/11, com chuva de cerca de 70mm em menos de uma hora. Fonte: Autor.	47

Figura 23: Ciclo hidrológico. Fonte: Silveira (2000).	49
Figura 24: Resposta Hidrológica de uma Bacia Hidrográfica. Fonte: Silveira (2000).	49
Figura 25: Balanço Hídrico Pré e Pós perturbação. Fonte: TUCCI (1997).	52
Figura 26: Resposta da geometria do escoamento. Limite da área de inundação é o limite do leito maior. Fonte: TUCCI (1997).	52
Figura 27: Efeito da Urbanização sobre a vazão média de enchente numa bacia de 1mi ² . Fonte: Leopold (apud Tucci 1997).	53
Figura 28: Mapa das Zonas Ecológicas propostas por Setzer e Porto (1979).	57
Figura 29: Mapa do Uso e Ocupação do Solo – Atual. Fonte: Autor.	63
Figura 30: Valores de CN na Bacia - Cenário Atual. Fonte: Autor.	65
Figura 31: Volume escoado - Cenário Atual.	68
Figura 32: Mapa do Uso e Ocupação do Solo - Cenário com Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.	70
Figura 33: Valores de CN - Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.	72
Figura 34: Volume Escoado - Cenário com Urbanização Intensificada.	74
Figura 35: Uso e Ocupação do Solo - Cenário com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.	76
Figura 36: Valores de CN - Cenário com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.	78
Figura 37: Volume Escoado - Cenário com Técnicas de Conservação. Fonte: Autor.	80
Figura 38: Acréscimo de milímetros por sub bacia - Cenário de Urbanização Intensificada X Cenário Atual. Fonte: Autor.	86
Figura 39: Decréscimo de milímetros - Cenário Atual x Cenário com Técnicas de Conservação. Fonte: Autor.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de Relevo: Carneiro et al (2003). Org: Autor.	31
Tabela 2: Faixas de classificação da Densidade de drenagem. Fonte: Beltrame (1994).	37
Tabela 3: Índices Morfométricos	39
Tabela 4: Classes do Uso e Ocupação do Solo	59
Tabela 5: Previsão de máximas alturas de chuvas, em mm. Fonte: DAEE (2018).	61
Tabela 6: Valores de CN - Cenário Atual. Fonte: Autor.	64
Tabela 7: Valores de CN – Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.	71
Tabela 8: Valores de CN - Cenário Com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.	77
Tabela 9: Valores de CN - Todos os Cenários. Fonte: Autor.	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Processo de Urbanização da cidade de Várzea Paulista, SP. Fonte: SEADE.	21
Gráfico 2: Hidrograma - Cenário Atual. Fonte: Autor.....	66
Gráfico 3: Hidrograma - Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.	73
Gráfico 4: Hidrograma - Cenário com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.	79
Gráfico 5: Hidrograma dos 3 cenários. Fonte: Autor.	81
Gráfico 6: Correlação entre o Volume escoado e a porcentagem de urbanização - Cenário Atual.	83
Gráfico 7: Correlação entre Volume escoado e porcentagem de urbanização – Cenário de Urbanização Intensificada.....	83
Gráfico 8: Correlação entre Volume escoado e porcentagem de urbanização - Cenário com Técnicas de Conservação,.....	84

Sumário

1- Introdução.....	11
2- Objetivos e Hipótese.....	13
3- Metodologia	14
4- Caracterização da Área de Estudo	16
4.1- Processo de Urbanização do município.....	19
4.2- Geologia	22
4.3- Geomorfologia	24
4.4- Pedologia	32
4.5- Hidrografia	34
5- Pontos Visitados	40
Ponto 1:.....	40
Ponto 2:.....	40
Ponto 3:.....	41
Ponto 4:.....	42
Ponto 5:.....	43
Ponto 6:.....	44
Ponto 7:.....	46
6- Alterações Hidrodinâmicas provocadas pela Urbanização Intensificada 48	
7- Modelagem Hidrológica.....	54
7.1- Método do Número da Curva ou Hidrograma Unitário do SCS/NRCS	54
7.2- Dados de entrada do Modelo Hidrológico	58
Tempo de Concentração (Tc)	60
Lag Time	60
Parcela impermeável do solo	60
Abstração Inicial.....	61

Chuva de Projeto	61
8- Resultados.....	62
8.1 - Cenário Atual	62
8.2- Cenário com Urbanização Intensificada.....	69
8.3- Cenário com Práticas de Conservação	75
9- Discussão dos Resultados.....	81
10- Conclusão	91
Referências	93
Apêndice – Insumos para a gestão de <i>situações de desastre</i>.....	97

1- Introdução

O conceito de *bacia hidrográfica* pode ser definido como um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos e o seu limite externo é definido a partir da delimitação feita nos *divisores topográficos*, geralmente o limite superior de uma vertente.

A teoria dos sistemas foi introduzida na Geomorfologia através dos trabalhos de Arthur N. Strahler (1950) e trabalhada no Brasil primeiramente por Christofolletti (1980). Um *sistema aberto* é caracterizado pela troca de massa e energia com o exterior, enquanto que em um *sistema fechado* somente ocorre a troca de energia. A entrada (*input*) de massa/energia é a função controladora do sistema, a transferência (*throughput*) de massa/energia cria as ligações ou relações com os elementos do sistema, por meio de processos, e a saída (*output*) ocorre quando a massa/energia deixa o sistema alterando ou criando um novo estado (STEVAUX,2017). Um elemento do sistema pode ser considerado um sistema em si, como por exemplo ao analisarmos hierarquicamente uma rede de drenagem: Uma rede de drenagem de primeira ordem pode ser estudada como um sistema ou como elemento de um sistema maior, sendo então definido pela escala espaço temporal. Uma bacia hidrográfica, portanto, por ser um sistema *aberto*, é influenciado por elementos contidos no interior e no exterior da sua área, como por exemplo: precipitação, evapotranspiração, infiltração e relevo.

A Bacia Hidrográfica do Córrego Pinheirinho (BHCP) se localiza ao sul do município de Várzea Paulista, numa área chamada de Serra do Mursa, formação rochosa que se encontra na Serra dos Cristais e possui uma área de 10,33km². A parte superior da bacia é composta por um relevo íngreme e de difícil acesso, sendo possível acessar somente via trilhas a pé. Ao longo com que o relevo se torna mais suave, a ocupação do solo vai se alterando na bacia, dando espaço para chácaras, sítios e algumas indústrias. O final da bacia é deságue das águas do Córrego Pinheirinho no Rio Jundiáí, com cerca de 6,6km de comprimento.

Historicamente a Bacia do Córrego do Pinheirinho enfrenta problemas relacionados a inundações, sendo estes deflagrados após chuvas intensas que vem a ocorrer no município. Localizada na parte central da cidade, tais eventos ocasionam em danos custosos aos munícipes e ao Poder Público, que

ocasionalmente atua de modo a corrigir os danos causados pelas inundações. Apesar da situação ser de evidente risco, futuras modificações nas variáveis como precipitação e infiltração podem gerar um aumento nos picos de vazão, causando ainda mais eventos desta natureza. Neste sentido, o trabalho visa a construção de um modelo hidrológico a fim de compreender o fluxo hidrológico da bacia, além de simular os dados de vazão em outros cenários de uso e ocupação do solo, a fim de entender como seria a resposta hidrológica da bacia em caso de modificação do uso e ocupação do solo.

2- Objetivos e Hipótese

O objetivo deste trabalho é analisar os impactos e as possíveis consequências da urbanização na Bacia do Córrego do Pinheirinho através de uma modelagem hidrológica.

Localizado num bairro de baixa densidade no município, o bairro apresenta sinais de mudanças devido à uma recente urbanização que vem ocorrendo através dos anos. Portanto, o objetivo geral deste trabalho é identificar as consequências para o córrego e a bacia de um possível aumento na densidade demográfica nesta região.

Considerando que a impermeabilização do solo acelere o escoamento das águas superficiais, consequentemente evoluindo o nível das linhas de drenagem mais rapidamente, é esperado que uma maior urbanização apresente índices morfométricos e prognósticos mais drásticos em relação a ocupação atual, provocando eventos frequentes de inundações, enquanto que uma ocupação mais racional desaceleraria este fluxo d'água excedente, possibilitando ao canal e sistema fluvial maior tempo de escoamento até a foz.

Partindo desta premissa, o trabalho será feito considerando três cenários, são eles: Uso e Ocupação do Solo - Atual, Uso e Ocupação do Solo – Urbanização Intensificada e Uso e Ocupação do Solo – Técnicas de conservação. Com a análise do Uso e Ocupação atual do Solo, será possível identificar o estado atual da bacia hidrográfica em relação ao tempo de concentração, taxa de impermeabilização e assim, calcular os índices de pico de vazão e milímetros escoados superficialmente.

3- Metodologia

O primeiro passo para a realização da modelagem hidrológica proposta é a delimitação da bacia hidrográfica correspondente a área de estudo. Esta delimitação foi feita baseando-se nas folhas **SF-23-Y-C-III-1-SE-E**, **SF-23-Y-C-III-1-SE-F**, **SF-23-Y-C-III-3-NE-A**, **SF-23-Y-C-III-3-NE-B**, todas produzidas na escala 1:10.000 (IGC) e georreferenciadas e vetorizadas pelo autor pelo software *ArcGis*. A partir desta vetorização foi possível adquirir os dados topográficos da área de estudo, além da construção do Modelo Digital de Terreno.

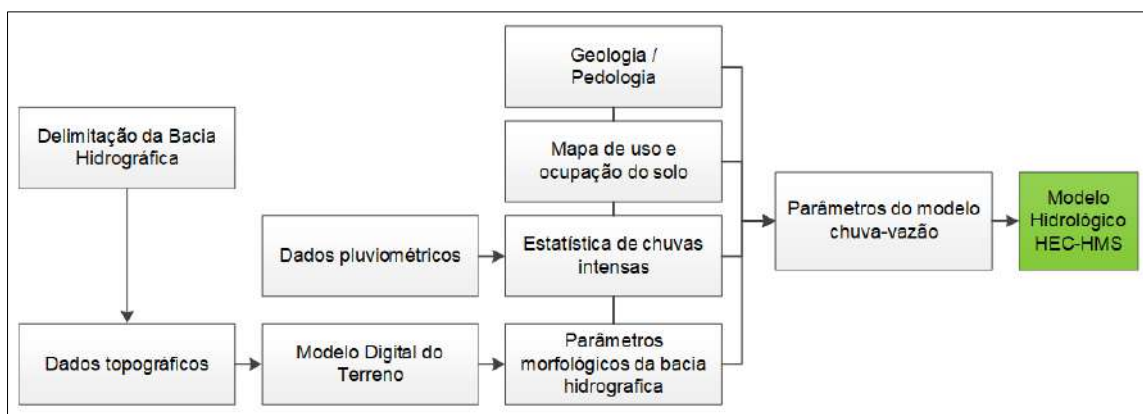
O segundo passo consistiu na realização de mapas de uso e ocupação do solo detalhados, numa escala em que foi possível separar áreas urbanas consolidadas das não consolidadas, arruamento urbano, áreas verdes inseridas na área urbana, além da tentativa de distinguir o tipo de vegetação na área rural. As informações relacionadas a geomorfologia da área de estudo foram obtidas através de Carneiro *et. al.* (2003). As informações relacionadas a Geologia foram consultadas através de Neves (2003), e as informações de Pedologia foram obtidas através da análise sobre o trabalho feito por Rossi (2017).

O terceiro passo foi obter dados pluviométricos regionais, permitindo obter diversos eventos de chuva de projeto e diferentes probabilidades de ocorrência. Devido à falta de informações robustas de pluviometria no município, neste trabalho foram utilizadas as equações de chuva desenvolvidas pelo DAEE (DAEE, 2016). A bacia hidrográfica foi dividida em diversas sub-bacias, considerando a área de influência para a linha de drenagem em questão. As sub-bacias correspondentes ao córrego Pinheirinho receberam a denominação **P**, enquanto que as sub-bacias do córrego adjacente (Mursa), receberam a denominação **M**. A partir dos dados de uso e ocupação do solo, pedologia, geomorfologia, geologia e pluviometria, é possível calcular os parâmetros necessários para a aplicação do modelo hidrológico chuva-vazão. Alguns dos parâmetros necessários são: tempo de concentração, área da bacia e sub-bacias, abstração inicial e número da curva.

Os parâmetros foram utilizados como dados de entrada no software *Hec-Hms*, que permite determinar o hidrograma da chuva de projeto. Também é terminada a vazão de pico durante o evento chuvoso correspondente à maior vazão resultante da modelagem hidrológica. Os resultados obtidos foram apresentados como tabelas, gráficos e também foram especializados para uma melhor apresentação e interpretação.

O procedimento metodológico pode ser melhor compreendido no fluxograma a seguir (**Figura 1**):

Figura 1: Fluxograma para a produção da modelagem hidrológica. Fonte: IPT, 2017. Adaptado.



4- Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é chamada de Bacia Hidrográfica do Córrego Pinheirinho e está localizada na cidade de Várzea Paulista, interior do Estado de São Paulo.

De acordo com o IBGE, o povoamento se iniciou em 1886, quando ainda era um bairro de Jundiaí, chamado de Secundino Veiga, nome oficial que entraria em desuso somente em 1956, quando o Cartório Civil substituiu a denominação para Distrito de Várzea, referência à planície fluvial do Rio Jundiaí, que corta a cidade. O Processo de desenvolvimento se acelerou com a vinda da Estrada de ferro Santos-Jundiaí e a construção da Estação Ferroviária em 1891, atraindo diversas famílias para o local e propiciando um aumento nas atividades econômicas através da abertura de casas comerciais. De acordo com a Prefeitura do município, o primeiro morador *varzino* fora Isaac de Souza Galvão, que teria sido responsável pela primeira olaria montada no local. Em 2020, o município tem uma população estimada de 121.838 pessoas e sua área territorial é de 35,120km², o que configura em densidade demográfica de 3.049,14 hab/km², o que a classifica como a 18ª maior densidade demográfica de todo o Estado de São Paulo (IBGE).

O mapeamento da área de estudo foi feito a partir da vetorização da Carta Topográfica do IGC, na escala 1:10.000. A Bacia Hidrográfica do Córrego Pinheirinho (BHCP) é composta por uma área de 10,33 km² e localiza-se no sul do município, sendo o deságue do córrego próximo a região central.

Foram visitados 9 pontos na área de estudo, todos ao longo do Córrego Pinheirinho e para diversos fins. Foram priorizados os pontos de maior criticidade quanto a futuras inundações, além de pontos chave para a visualização de todo um panorama da bacia. Os pontos foram divididos de 1 a 7, sendo 1 o ponto mais a montante, já na cabeceira do córrego, e 7 o ponto mais a jusante, a metros do deságue com o Rio Jundiaí. São eles:

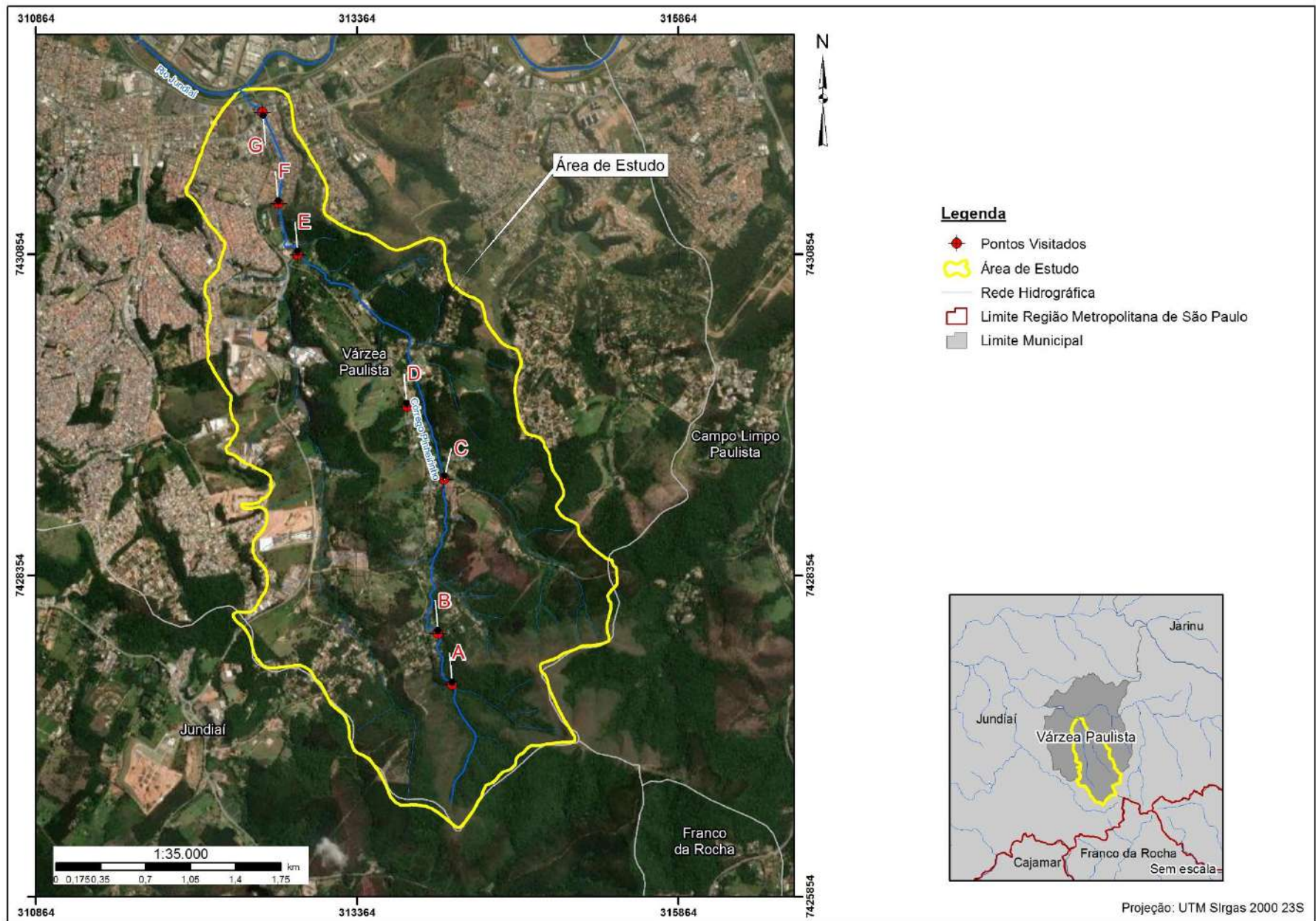
- 1 Cachoeira Serra do Mursa
- 2 Travessia Estrada do Mursa
- 3 Travessia Cerâmica Mursa
- 4 Rua Arnold Gut Junior
- 5 Pesqueiro Tubarão Branco

6 Canal Retificado

7 Deságue Rio Jundiaí

O mapa de localização do município e da área de estudo, além dos pontos visitados, pode ser visto na **Figura 2**.

Figura 2: Mapa de Localização da Área de Estudo. Fonte: Autor.



4.1- Processo de Urbanização do município

Assim como definido por SANTOS (1993), a cidade é definida como forma espacial correspondente à urbanização, compreendida como processo social, enquanto que o urbano é visto como conteúdo de ambos, sendo portando cidade = forma, urbanização = processo, que deve ser estudado como uma formação socio-espacial por meio de uma análise do histórico e de seus processos.

A povoação do Estado de São Paulo ficou de certa forma mais restrito à costa e alguns eixos no planalto nos seus primeiros 300 anos, onde se destacavam as pequenas vilas e pouquíssimas aglomerações expressivas. A relação entre as vilas no século XIX era pelo fornecimento de materiais, feito em sua maioria por tropas de burros (DA LUZ, 2006). Cidades como Jundiaí e Sorocaba se destacavam por fazerem parte das “rotas de penetração e expansão bandeirantista, do apressamento indígena, da busca de metais preciosos e da posse efetiva do sertão paulista e ao longo dos caminhos do sol” (PRESTES, 2001). DA LUZ (2006) ainda destaca que a cidade permaneceu pouco povoada e extensivamente rural até 1870 devido a um período de transição de culturas, envolvendo o café e a cana de açúcar, período em que Jundiaí, Sorocaba, Piracicaba e Mogi-Guaçu faziam parte do “quadrilátero do açúcar”. A transição de Jundiaí de uma cidade de economia fechada para uma economia de mercado se efetiva após o período da cana de açúcar e a inserção do café. A mudança no uso e ocupação do solo na cidade é evidente, com um povoamento maior e alimentado pela influência de imigrantes italianos na região.

Após a inauguração da via férrea Santos-Jundiaí em 1867, a paisagem Jundiaense começa a se transformar: impulsionada pelo mercado do café, Jundiaí se torna um centro ferroviário comercial, ajuntando-se a outras funções como a instalação das oficinas da companhia e a chegada do ramal da Companhia Ytuana, que ligava a cidade de Itu até Jundiaí, em 1873 (PREZOTO, 1998).

A industrialização de Jundiaí, primeiro seguindo o eixo da ferrovia próxima das margens do Rio Jundiaí, e em um segundo momento às margens da rodovia Anhanguera (1948), fez com que houvesse um incremento populacional e transformado a paisagem da cidade de rural para urbano em pouco tempo.

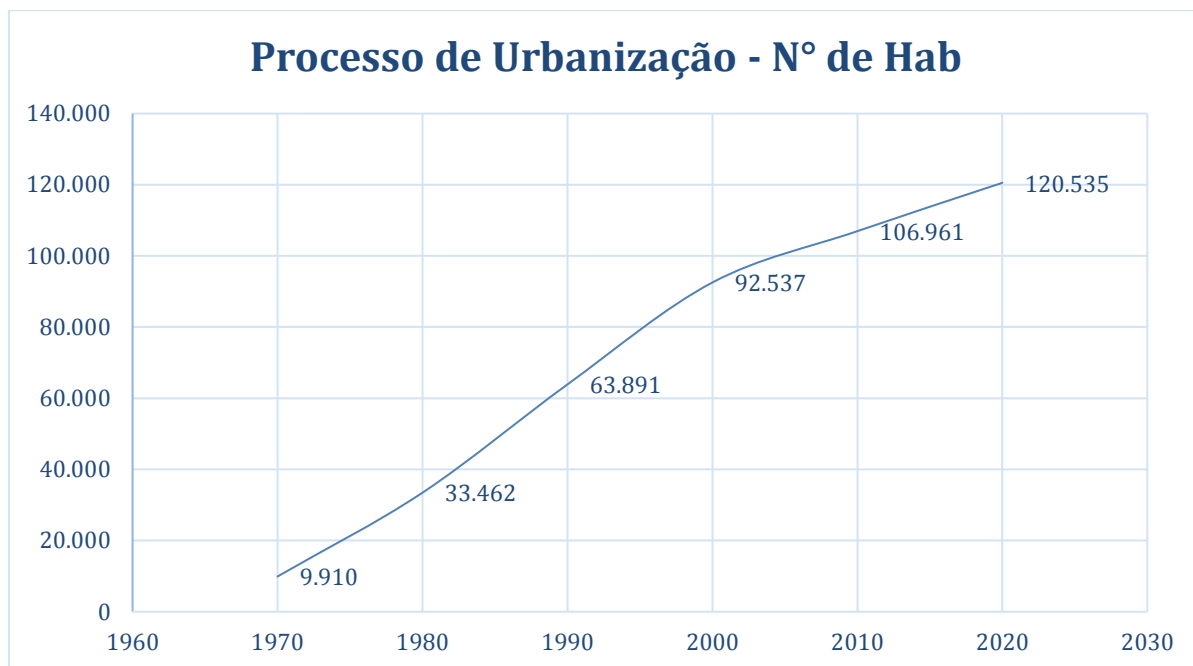
Várzea Paulista se emancipa de Jundiaí em 14 de agosto de 1956, portanto têm sua história habitacional diretamente ligada à cidade vizinha.

Nos anos pós emancipação houve um crescimento populacional vertiginoso no município, impulsionado pela proximidade de Jundiaí e terrenos mais baratos, a cidade saltou de 9.910 habitantes em 1970 para 33.835 em 1980, ocasionando em uma urbanização desenfreada e desigual. Impulsionadas pela via férrea, as indústrias foram se instalando na planície do Rio Jundiaí, como pode ser visto na **Figura 3**. O **Gráfico 1** apresenta a evolução populacional do município:

Figura 3: Cidade de Várzea Paulista na década de 60 - Presença de indústrias próximas à via férrea, localizada na planície do Rio Jundiaí. Fonte: Prefeitura de Várzea Paulista.



Gráfico 1: Processo de Urbanização da cidade de Várzea Paulista, SP. Fonte: SEADE.



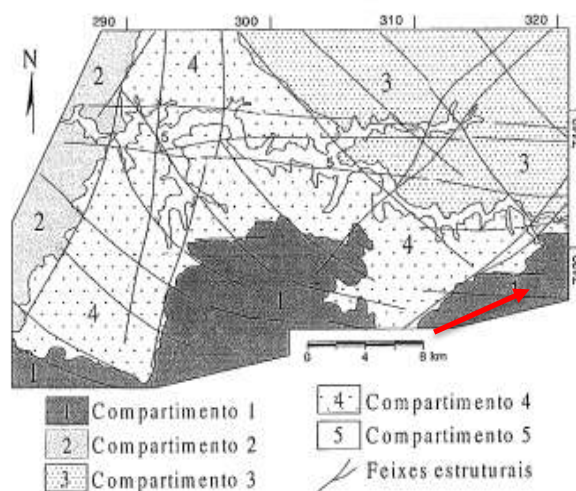
A rápida urbanização fez com que a cidade passasse a enfrentar eventos de inundação em frequência, num primeiro momento devido à ocupação na planície de inundação do Rio Jundiaí, como visto na imagem acima. Contudo, devido a ocupação nas cabeceiras de drenagem e a utilização de córregos e avenidas como eixos de crescimento (Várzea Paulista, 2006) diversos córregos passaram a apresentar tais problemas.

A Bacia do Córrego do Pinheirinho é uma das únicas que desaguam no Rio Jundiaí e que não foram completamente urbanizadas e no atual plano diretor, a Lei Complementar N° 167, de 09 de Outubro de 2006, a região se encontra na Macrozona de Proteção Ambiental e de Recursos Hídricos, compondo uma região de “transição entre as áreas com urbanização consolidada e as áreas do morro do Mursa, destinando-se a usos residenciais de baixa densidade, chácaras e sítios de recreio, além de cumprir função de proteção dos recursos hídricos do município”

4.2- Geologia

Neves (2003) dividiu a região de Jundiáí em cinco compartimentos morfoestruturais, como é possível ver na figura abaixo. A área de Estudo, localizada na Serra dos Cristais, está presente no Compartimento 1, apontada pela seta em vermelho. A **Figura 4** também mostra os principais lineamentos associados a estruturas rúpteis.

Figura 4: Compartimentação morfoestrutural da região de Jundiáí. Fonte: Neves (2003).

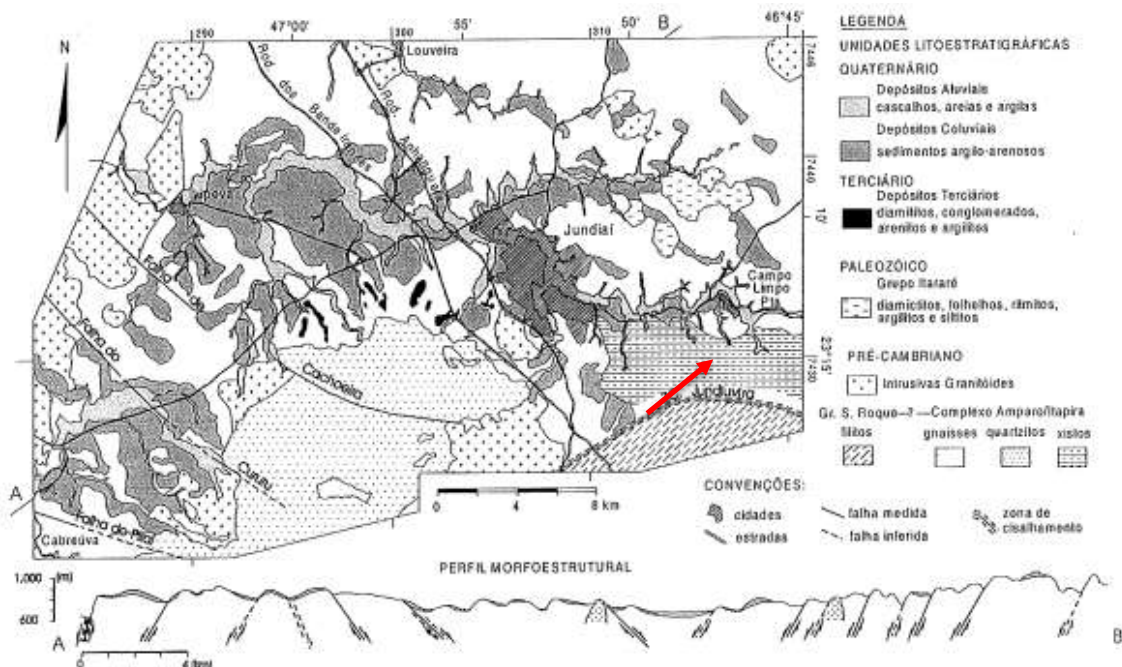


Na divisão proposta por Neves, no Compartimento 1 estão presentes principalmente as serras de maiores elevações (até 1200m), sendo elas a Serra do Japi, localizada a centro-oeste e a Serra dos Cristais, localizada à Sudeste; O Compartimento 2 compreende topos aplainados com altitudes máximas em torno de 800m; O Compartimento 3, localizado ao norte, tem altitude máxima de 900m e apresentam topos arredondados. Neste compartimento se localizam as suaves elevações da Serra do Jardim; o Compartimento 4 é representado por morrotes de vertentes convexas e topos arredondados e suas elevações variam de 600 a 800m; por último, o Compartimento 5 corresponde à planície aluvial do Rio Jundiáí.

De acordo com Perrota *et.al.* (2005), as unidades litológicas presentes na área de estudo são o Complexo Varginha-Guaxupé e o Grupo São Roque, sendo o Complexo Varginha-Guaxupé fonte das associações dobradas onde predominam mica xistos, biotita gnaiss e paragnaisse. Já o Grupo São Roque constitui-se de metarenito quartzoso, metapelito e metarritmito.

Neves (2003) discorre que é possível encontrar coberturas mais jovens como sedimentos permo-carboníferos do subgrupo Itararé. São sedimentos paleozoicos de origem glacial e que se correlacionam ao Grupo Itararé, identificados pela alternância rítmica de níveis argilosos e silteosos. Os Argilitos, siltitos, diamictitos, folhelos e ritmitos que se encontram alterados têm sido explorados por indústrias cerâmicas locais e indústrias produtoras de agredados de argilas expandidas. A **Figura 5** apresenta o Mapa Geológico da Região de Jundiá, por Neves (1999).

Figura 5: Mapa Geológico Simplificado da Região de Jundiá. Fonte: Neves, 1999.



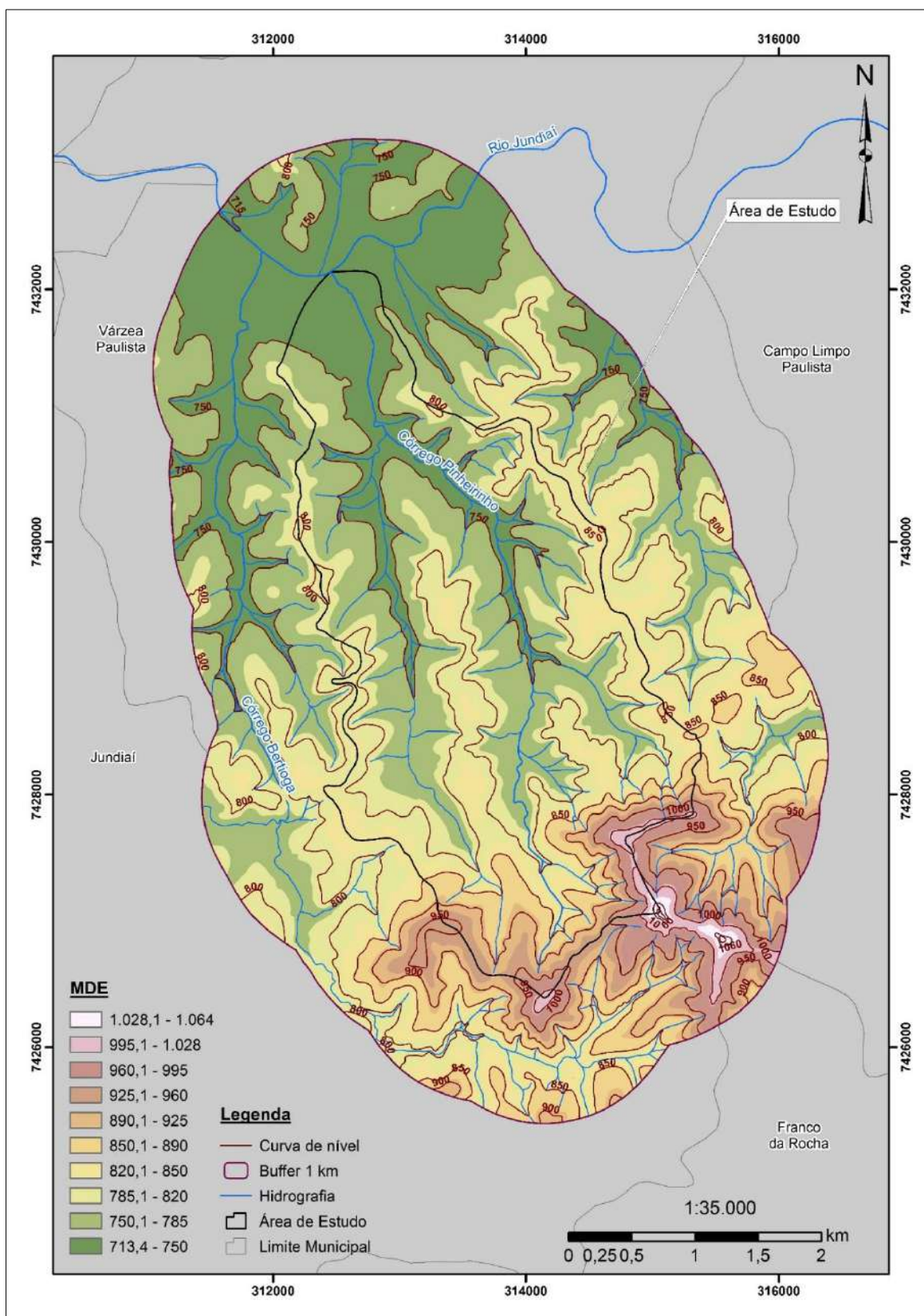
A partir das informações obtidas acima e também informações obtidas previamente, sabe-se que a Bacia Hidrográfica do Córrego Pinheirinho fica localizada em Várzea Paulista, entre Jundiá e Campo Limpo Paulista. De acordo com as informações apresentadas acima, na área de estudo ocorre e presença de Filitos com intercalações de xistos e porções de quartzitos pertencentes ao Grupo São Roque, cuja origem é do Pré Cambriano, principalmente à montante, enquanto que a jusante existe a presença de sedimentos argilo-arenosos e depósitos aluviais provenientes do Quaternário. Os depósitos aluviais são provenientes da planície de inundação do Rio Jundiá, localizado à jusante da bacia.

4.3- Geomorfologia

Para que se possa fazer uma melhor análise do relevo da área de estudo, foi feito um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir dos dados obtidos nas cartas topográficas do IGC, feitas na escala 1:10.000 e, portanto, detentoras de grande detalhe. Apesar das cartas terem sido feitas com o intervalo de curvas de nível de 10 metros entre si, para fins de melhor visualização optou-se por apresentá-las de 50 em 50 metros, além do menor e maior valor encontrado, 715m e 1060m respectivamente.

No Modelo Digital de Elevação é possível fazer a distinção do relevo da área de estudo em três principais macro-divisões, sendo elas: alta vertente, média vertente e baixa vertente. Na alta vertente predomina altitudes maiores que 850m em média, onde há uma maior declividade e densidade de drenagem. A média vertente se encontra entre 750m e 850m, onde há a predominância de relevos mais suaves que favorecem o escoamento mais lento da drenagem, além de um maior favorecimento à ocupação. A baixa vertente se localiza abaixo dos 750m de altitude, áreas onde há a presença de linhas de drenagem e também relevos mais planos, com maior tendência de ocupação e consequentemente maior possibilidade de eventos extremos. O Modelo Digital de Elevação (MDE) pode ser visto na **Figura 6**.

Figura 6: Modelo Digital de Elevação. Fonte: IGC, 1977. Fonte: Autor.



A primeira subdivisão do relevo do Estado de São Paulo foi feita por Moraes Rego (1932), onde o mesmo definiu grandes unidades fisiográficas como o

Planalto Ocidental, Depressão Periférica, Vale do Paraíba e outras. Em seguida, Deffontaines (1935) elaborou uma nova proposta de divisão regional. Ab'Saber (1956) fez uma releitura de ambos os trabalhos ao caracterizar as formas contidas nas principais unidades fisionômicas e sem seguida, Ab'Saber & Bernardes (1958) foram adiante nas propostas de Moraes Rego e Deffontaines e subdividiram o Planalto Atlântico e o Litoral em algumas zonas morfológicas.

Uma nova proposta de divisão geomorfológica do Estado foi feita por Almeida (1964), onde o autor definiu uma hierarquização devido as diferentes fisionomias morfológicas e também levando em consideração o embasamento geológico. Desta maneira, Almeida dividiu o relevo Paulista em províncias, zonas e subzonas geomorfológicas.

A proposta de Almeida (1964) é a referência para o trabalho feito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas em 1981, a Carta Geomorfológica do Estado de São Paulo. O trabalho realizado pelo IPT, de acordo com Ross & Moroz (1997),

“têm a geomorfologia como chave para a compreensão do meio físico, e identifica limites entre os sistemas com base nas características do relevo, suas unidades, incluindo variedades e os atributos de seus elementos e resulta em mapa de análise integrada de dados sobre solos, recursos hídricos, processos erosivos e deposicionais, vegetação e clima”

O trabalho feito pelo IPT foi o primeiro a caracterizar o Planalto de Jundiáí, região onde há o predomínio dos relevos de colinas e morros com topos convexos. Esta subdivisão apareceu novamente no trabalho feito por Ross & Moroz em 1997. De acordo com IPT a área de estudo está localizada no Planalto de Jundiáí, numa área classificada como relevos de degradação, em planaltos dissecados, com duas formas de relevo sendo representadas. Na cabeceira, há a predominância de Relevo de Morros, onde predominam declividades altas e Morros com Serras Restritas, com a presença de topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos e presença de serras restritas. A drenagem é classificada como de alta densidade. Já em direção a jusante, as formas de relevo

predominantes são os Mares de Morros, com a presença de topos arredondados, que constitui um conjunto de formas em “meia laranjas”

Ross (1992) propôs uma ordem taxonômica diferente para o relevo terrestre, onde ressalta-se que o estrutural, (bases litológicas e geotectônicas) e o escultural (produtos morfológicos de influência atual e pretéritas) estão presentes em qualquer forma e tamanho, e suas categorias de tamanhos, idades, gêneses e formas podem ser identificadas sozinhas, tornando-se distintas. A ordem taxonômica de Ross (1992) foi base para o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (Ross & Moroz, 1997), onde são considerados 6 taxons distintos.

Tanto no trabalho realizado pelo IPT quanto o trabalho realizado por Ross & Moroz, a área de estudo encontra-se no Planalto de Jundiaí. De acordo com Ross & Moroz, a área de estudo encontra-se na unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico, sendo o Planalto de Jundiaí a unidade morfoescultural. Já as formas de relevo representadas na bacia são todas Denundacionais, descritas pelo trabalho como Colinas e Morros Altos com grau de entalhamento dos vales médio, ocorrendo variação apenas na densidade de drenagem, onde na cabeceira se tem valores que são classificadas como muito altas. As demais áreas ao longo da bacia são caracterizadas como alta e média. Toda a região é sujeita a processos erosivos agressivos com a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa e erosão linear com voçorocas.

Apesar do alto nível de detalhamento presente tanto no trabalho do IPT (1981) quanto no trabalho feito por Ross & Moroz (1997), ainda faltam trabalhos de geomorfologia detalhada na região. O trabalho feito por Carneiro *et al* (2003), apesar de numa escala de semidetalhe, já fornece informações valiosíssimas acerca da geomorfologia regional.

Carneiro *et al.* (2003) produziram o “Mapeamento geomorfológico em escala de semidetalhe da região de Jundiaí-Atibaia” (2003) e os parâmetros adotados para caracterizar a compartimentação do relevo foi a partir das informações disponíveis em IPT (1981) e Ross & Moroz (1997). A área do estudo feito por Carneiro *et al.* (2003) foi subdividida em 7 unidades, sendo elas: **Pa** - Planícies

aluviais, **Col** - Colinas, **Cme** - Colinas e Morrotes de Cimeira, **CMt** - Colinas e Morrotes, **MMt** - Morros e Morrotes e **MTA** - Morros com Topos Agudos.

A montante da Bacia Hidrográfica do Córrego Pinheirinho encontra-se localizada na Serra dos Cristais e na unidade Mta – Morros com Topos Agudos, região sustentada principalmente pelas unidades metareníticas e quartzitas do Grupo São Roque. São representados por topos aguçados, estreitos alongados e subparalelos e contém alta densidade de drenagem, como visto nos trabalhos feitos por IPT (1981) e Ross & Moroz (1997). Ainda de acordo com Carneiro *et al*, “A preservação da vegetação reduz a intensidade dos processos superficiais” e a ocupação na área, levando em consideração os fatores de dinâmicas superficiais, é descrita como “desfavorável ou ocupável sob restrição”. Na **Figura 7** é possível ver a face da Serra do Mursa onde estão presentes os “topos estreitos alongados”, segundo Carneiro *et al* (2003). Na **Figura 8** os “topos aguçados” descritos também por Carneiro *et al* (2003) são identificados, em uma outra vertente da Serra. A **Figura 9**, obtida através de um voo de drone, mostra toda a Serra do Mursa.

Figura 7: Serra do Mursa, vista a partir da jusante. Fonte: Autor.



Figura 8: Serra do Mursa, vista lateral. Fonte: Autor.



Figura 9: Serra do Mursa, vista superior. Fonte: Flávio Xavier.



Já em direção a jusante, o tipo de relevo presente é predominante de Colinas, baseados em coluviões e sedimentos correlatos do Grupo Itararé, representado por xistos e gnaisses como fora visto acima quando o tema da geologia foi abordado. Nos relevos de colinas são encontradas formas suaves de relevo com topos estreitos e convexos e com baixa densidade de drenagem. Ainda de acordo com a dinâmica superficial, Carneiro *et al*/ponderam que apesar da baixa intensidade de erosão laminar ou em sulcos, os processos “podem ser intensificados por desmatamento e ocupação inadequada”. A **Figura 10**, também obtida através de drone, tem vista para a jusante da bacia. A mudança na forma de relevo é perceptível, com modelados mais suaves. O relevo dos




“Mares de morros”, observados pelo IPT (1981), estão presentes nesta área da bacia.

Figura 10: Vista geral para a Jusante da Bacia. Fonte: Flávio Xavier.



Na foz do córrego do Pinheirinho, o tipo de relevo predominante é a Planície aluvial. Caracterizado por aluviões, são formados a partir da deposição dos sedimentos na planície de inundação ao longo do Rio Jundiaí. Carneiro *et al* discorrem acerca das dinâmicas superficiais na unidade e ressaltam a possibilidade a cheias sazonais, adicionando ainda que os terrenos “são impróprios à ocupação devido à possibilidade de incidência de inundações”. A **Tabela 1** apresenta as formas de relevo a partir da interpretação do trabalho de Carneiro *et al* (2003).

Tabela 1: Padrões de Relevo: Carneiro et al (2003). Org: Autor.

Vertente	Padrão de Relevo	Obs.	Imagem
Alta vertente	MTA – Morros com topos agudos	Alta densidade de drenagem Desfavorável a ocupação	
Média vertente	COL – Colinas	Formas suaves de relevo Topos extensos e convexos	
Baixa vertente	Pa – Planícies Aluviais	Planície Aluvial do Rio Jundiá Possibilidade de cheias sazonais	

Como visto nos trabalhos citados acima, apesar de suas diferenças metodológicas e seu nível de detalhe, há uma aproximação nos conceitos e também nas correlações, principalmente ao analisar as formas de relevo. A montante, a Bacia Hidrográfica é representada por relevos com alta densidade de drenagem e com altimetria de até 1060m, com alta declividade. Em direção a jusante, o relevo se transforma em Colinas (Carneiro *et al*, 2003) ou Mares de Morros (IPT, 1981) com formas mais suaves e menor declividade. Nesta área é onde se encontram os locais com maior avanço na urbanização no século XXI, uma vez que toda a cidade, como dito acima, se estabeleceu às margens do Rio Jundiá e ao lado da Estação Ferroviária, localizada no tipo de relevo caracterizado por Carneiro *et al* como Planície Aluvial.

A geomorfologia da área de estudo fornece, portanto, ferramentas para se analisar os eventos extremos que já foram e podem ser registrados no município.

Uma ocupação em áreas com alta declividade pode levar a uma intensificação/deflagração nos processos erosivos, aumentando a quantidade de sedimentos transportados ao canal fluvial. Por outro lado, a intensa ocupação ao longo das margens do rio Jundiá foi responsável por diversos problemas relacionados à inundação ao longo dos anos. A Bacia Hidrográfica do Córrego Pinheirinho apresenta características que podem acarretar problemas futuros, como uma alta declividade à montante e uma planície de inundação na foz do córrego Pinheirinho, numa área que no passado, já apresentou problemas de inundação devido às cheias sazonais do Rio Jundiá.

4.4- Pedologia

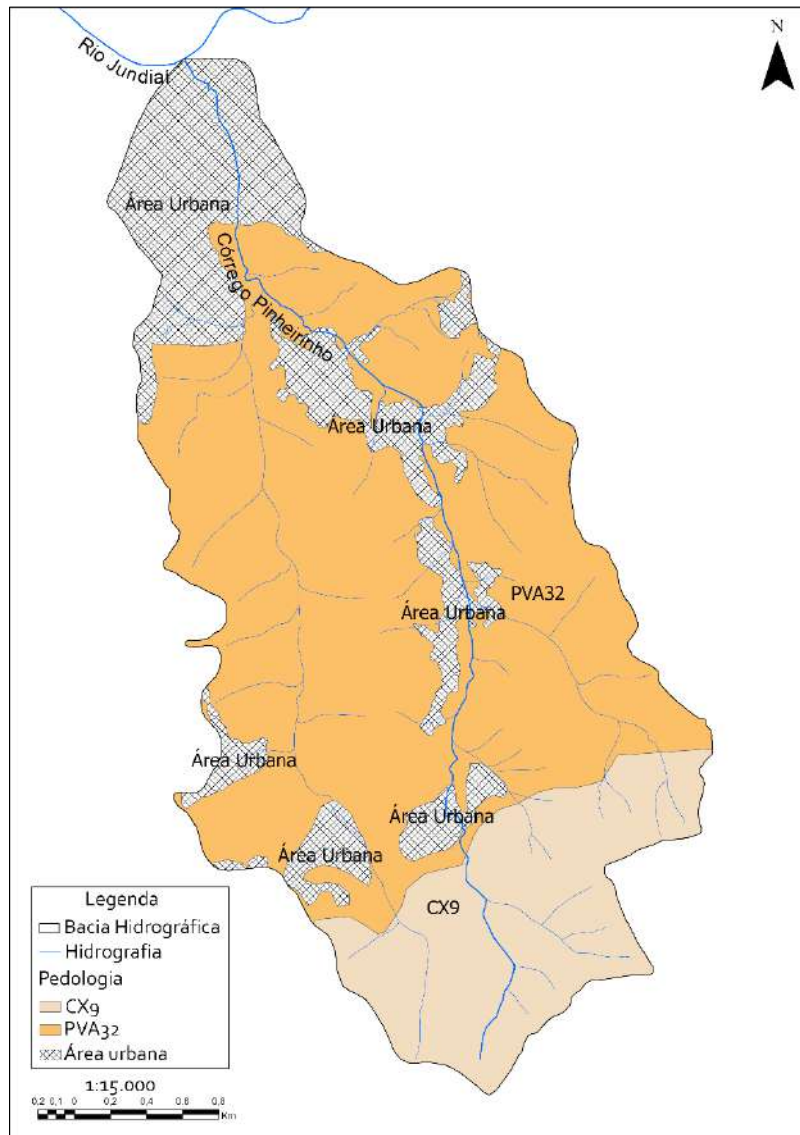
A análise pedológica da área de estudo foi feita baseada no Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Rossi, 2017) na escala 1:250.000 e feito a partir do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Oliveira *et al.*, 1999) e outros levantamentos pedológicos que foram feitos no Estado de São Paulo. Todo o mapa constitui-se de 247 unidades de mapeamento, que são representadas por unidades de mapeamento simples (apenas uma classe de solos) ou por associação de duas ou mais classes. De acordo com Rossi (2017), existem dois ordens de solo presentes na área de estudo, são eles: CX9 (Cambissolos) e PVA32 (Argissolos).

Os Cambissolos estão presentes na área de maior amplitude altimétrica na área de estudo, representado pela Serra do Mursa e consequentemente a cabeceira do Córrego do Pinheirinho. É uma associação de Cambissolo háplico Distrófico e Eutrófico com Argissolo Amarelo e Vermelho amarelo distrófico. Estão associados a relevo forte e ondulado e há a presença rochosa. Os solos nesta região são de pouca profundidade, indicando uma intensificação no processo de lixiviação do solo devido a grande declividade. Já em direção à jusante há uma maior presença do Argissolo vermelho amarelo distrófico, ainda em associação com o Cambissolo háplico em relevo ondulado. Diferentemente da associação presente na área de grande declive, os solos nesta região são de média a alta profundidade, indicando uma menor declividade em relação à montante.

Apesar da riqueza do mapeamento, o nível de detalhe não é suficiente para explicitar todos as ordens e subordens de solos presentes na bacia. Muito provavelmente há uma presença de associações de solos hidromórficos

relacionados à planície de inundação do Rio Jundiáí, o exutório da Bacia Hidrográfica do Córrego Pinheirinho. A **Figura 11** mostra a presença dos solos na área de estudo, de acordo com Rossi (2017) e organizado pelo autor.

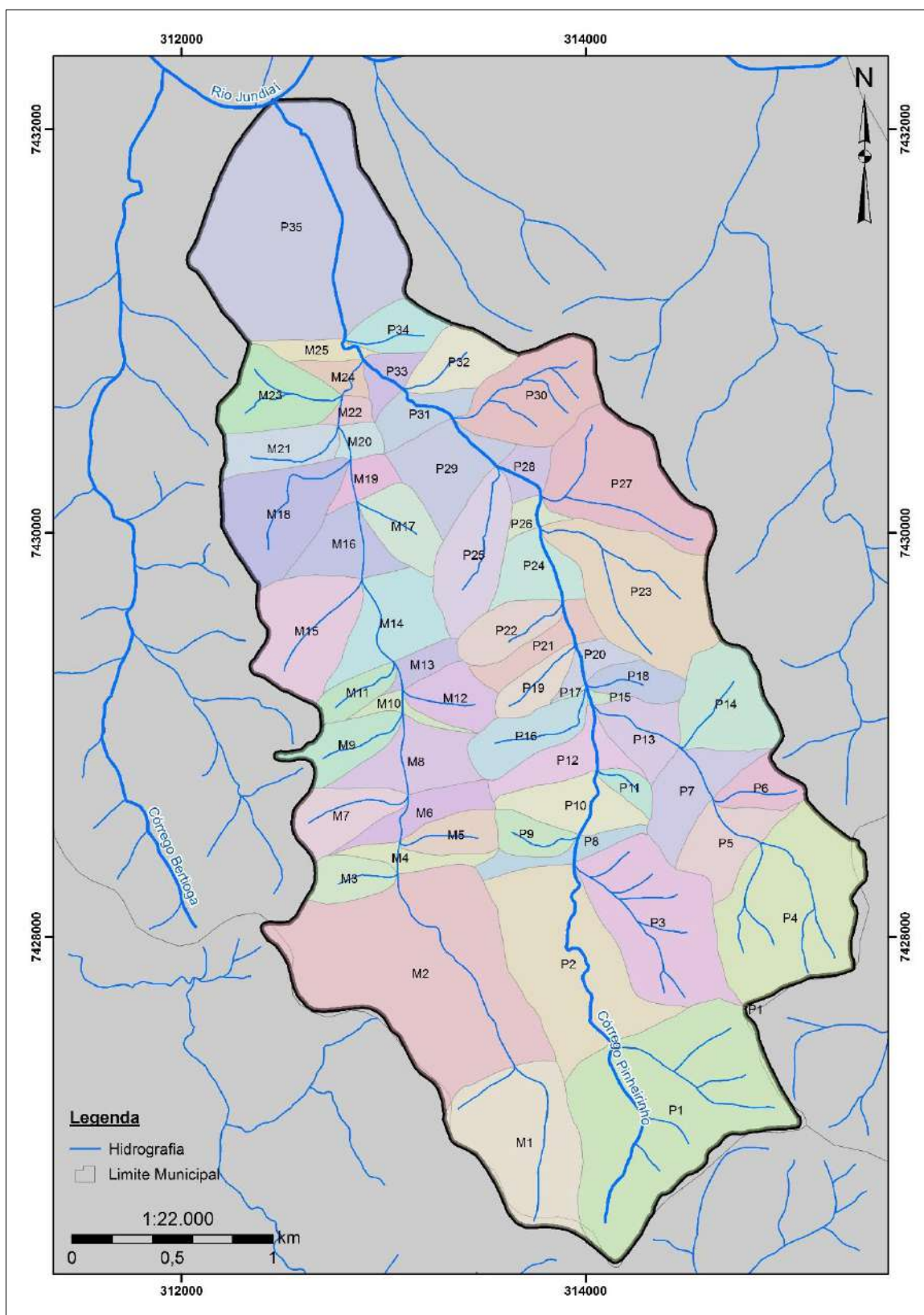
Figura 11: Mapa pedológico da área de estudo. Fonte: Rossi, 2017. Org: Autor.



4.5- Hidrografia

A Bacia Hidrográfica do Córrego do Pinheirinho compreende uma das principais redes de drenagem do município e sua nascente é na região sul da cidade, nos limites com as cidades de Jundiaí e Campo Limpo Paulista. O córrego do Pinheirinho tem sua nascente na Serra do Mursa e se junta ao Córrego do Mursa, indicado pelas sub-bacias de nomenclatura M, na altura do Ponto E, mantendo o nome de Córrego do Pinheirinho. localizada na Serra dos Cristais, e tem sua foz no Rio Jundiaí. O Córrego do Pinheirinho nasce a uma altitude próxima a 1060m e sua foz é próxima de 715m, e por isso o córrego possui uma grande variedade altimétrica em todo o seu curso, que compreende um total de 6,6km de comprimento, aproximadamente. A **Figura 12** a seguir mostra as sub-bacias que foram encontradas na área:

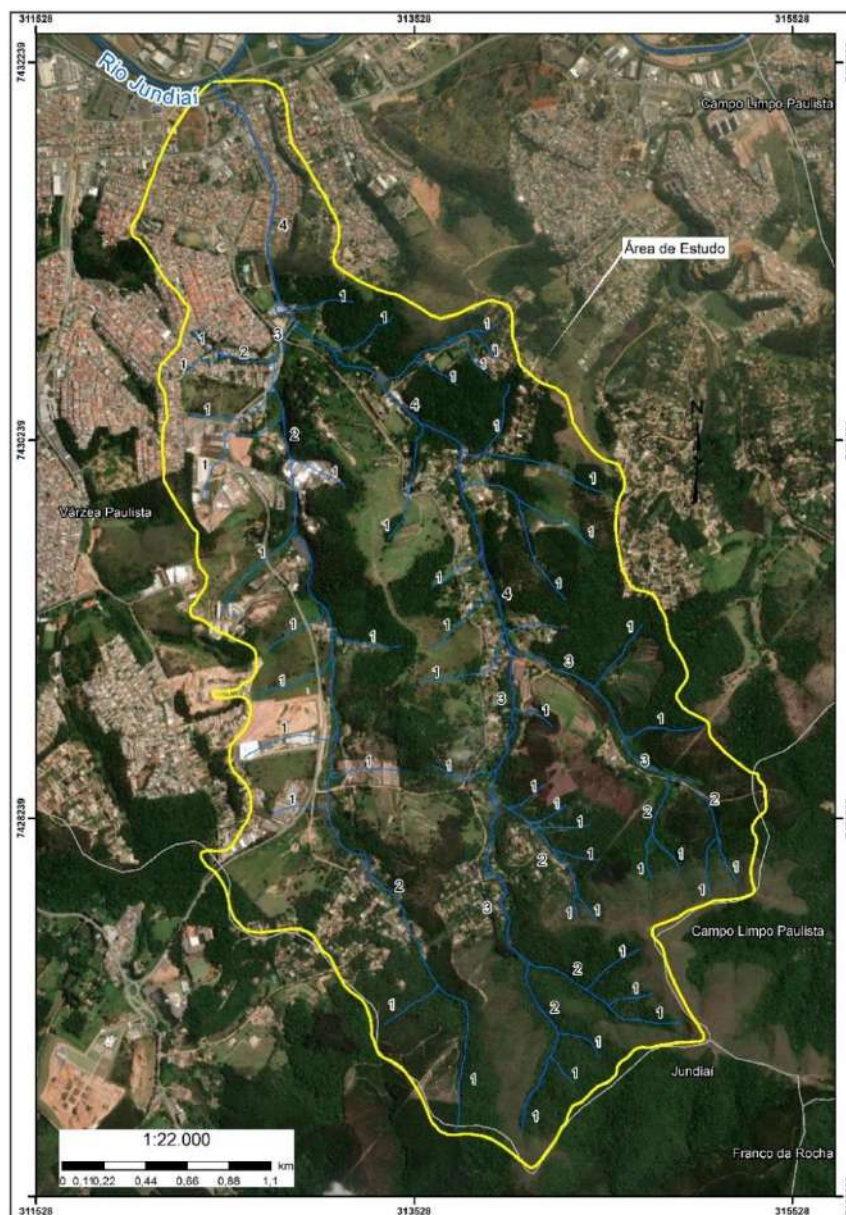
Figura 12: Mapa das Sub bacias e zonas de contribuição difusa. Fonte: Autor.



Um dos primeiros parâmetros morfométricos para se estudar uma bacia hidrográfica é a partir do levantamento da sua hierarquia fluvial, onde se

estabelece a classificação de determinado curso d'água no conjunto total da dbacia em questão (CHRISTOFOLETTI,1980). Para este estudo, será utilizado o esquema proposto por SRAHLER (1950), onde a identificação se inicia com os rios de 1ª ordem. A confluência de 2 rios de 1ª ordem, forma-se um seguimento de 2ª ordem de drenagem e assim sucessivamente. Essa análise permite o conhecimento da bacia hidrográfica, além da identificação do canal principal. A **Figura 13** apresenta o Mapa da Hierarquia Fluvial da Bacia.

Figura 13: Mapa da Hierarquia Fluvial. Fonte: Autor.



Como pode ser visto no mapa acima, com informações geradas a partir da vetorização das Cartas Topográficas do IGC (1977), sendo elas:

SF-23-Y-C-III-1-SE-E, SF-23-Y-C-III-1-SE-F, SF-23-Y-C-III-3-NE-A, SF-23-Y-C-III-3-NE-B, feitas na escala 1:10.000. o Córrego do Pinheirinho é um seguimento de 4ª ordem de drenagem, capaz de receber tributários de todas as 3 ordens inferiores.

Outro parâmetro morfométrico para se classificar a eficiência do escoamento é a Densidade de drenagem, pois é um coeficiente capaz de expressar mais diretamente, com a junção dos diversos fatores (clima, relevo, tipo de rocha e solo, cobertura vegetal e uso e ocupação de uma bacia) a capacidade total de escoamento de uma bacia. Horton (1948) definiu densidade de drenagem (Dd) como o quociente do comprimento total dos canais de uma bacia ($\sum C$) pela área da bacia (Ad), sendo expresso em km/km². O resultado da Densidade de Drenagem para a Bacia do Córrego do Pinheirinho pode ser visto na **Equação 1**:

$$Dd = \frac{\sum C = 26,60km}{A = 10,33km^2}$$

$$Dd = 2,5 \text{ km}/km^2$$

A classificação da Densidade de drenagem foi baseada em Beltrame (1994), que sugeriu as seguintes faixas:

Tabela 2: Faixas de classificação da Densidade de drenagem. Fonte: Beltrame (1994).

Dd (km/km²)	Denominação
<0,50	Baixa
0,50 - 2,00	Mediana
2,01 - 3,50	Alta
>3,50	Muito Alta

Portanto, de acordo com Beltrame (1994), a área de estudo encontra-se numa faixa de alta densidade de drenagem, sugerindo a existência de um elevado escoamento superficial, se relacionando diretamente com as dinâmicas climáticas e também se relacionando com a geologia da área, uma vez que a Densidade de drenagem é maior onde há uma maior impermeabilidade do solo. Contudo, neste caso, há uma maior incidência de rochas metamórficas xistosas na área, contribuindo para uma maior permeabilidade devido as suas estruturas foliadas. Tais estruturas condicionam aspectos mais geométricos da drenagem,

contribuindo para uma maior dissecação do relevo, caracterizando então a alta densidade de drenagem. O contrário também é perceptível, com densidade de drenagem com valores menores sendo encontrados em locais onde há a predominância de granulometria grossa e maior percolação (Demattê e Demétrio, 1998).

Já a Densidade hidrográfica (Dh) é responsável pela relação entre o número de rios ou canais com a área da bacia. De acordo com Christofolletti (1969), este índice expressa a grandeza da rede hidrográfica e a sua capacidade de gerar novos cursos d'água. Ainda de acordo com Christofolletti (1969), para este cálculo é necessário utilizar apenas os rios ou canais de primeira ordem, conforme classificado acima. Densidade hidrográfica (Dh) será igual ao número de rios ou canais (N) dividido pela área da bacia em km² (A), como pode ser visto na **Equação 2**:

$$Dh = \frac{N = 49}{A = 10,33\text{km}^2}$$

$$Dh = 4,74 / \text{km}^2$$

De acordo com Lollo (1995) o resultado se enquadra numa classificação de densidade hidrográfica Média, sendo considerada alta apenas bacias cujos valores ultrapassam 7.

Uma outra análise morfométrica para a previsão de inundações é o fator de forma (F), que relaciona a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia. De acordo com Villela e Matos (1975), uma bacia com fator de forma baixo é menos suscetível a enchentes. Numa bacia com fator de forma com valor próximo a 1 é maior a probabilidade de grandes enchentes, pois a concentração do fluxo em uma bacia de forma próxima ao quadrado é maior, enquanto que numa bacia alongada essa concentração de fluxos é menor e consequentemente há um maior intervalo de tempo para que ocorra o deságue. A **Equação 3** mostra o cálculo e o valor do fator de forma (F), dividido pela área da bacia (km²) e o comprimento axial da bacia em km (L²).

$$F = \frac{A = 10,33 \text{ km}^2}{L^2 = 5,98^2 \text{ km}}$$

$$F = 0,28$$

O resultado obtido na equação do Fator de Forma (F) não apresenta para uma maior susceptibilidade à eventos de inundação, apesar os eventos já registrados historicamente.

Por último, será analisado a relação de relevo (Rr), analisando a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal. De acordo com Schumm (1956), quanto maior o valor de Rr, maior será o desnível entre a cabeceira e a foz, e maior será a declividade média da bacia. A relação de relevo (Rr) se dá através da divisão entre a amplitude altimétrica em metros (Hm) pelo comprimento do canal principal em km (Lc). O cálculo pode ser visto na **Equação 4**:

$$Rr = \frac{Hm = 345m}{Lc = 6,6 \text{ km}}$$

$$Rr = 52,27m/km$$

O índice encontrado em Rr representa um desnível de 52m em a cada 1km de canal principal, em média. Este alto desnível contribui para a formação de possível enchentes na parte baixa da bacia, uma vez que o alto desnível contribui para uma maior velocidade de escoamento da água. A **Tabela 3** apresenta todos os resultados obtidos através da análise morfométrica:

Tabela 3: Índices Morfométricos

Parâmetros	Resultados
Área da bacia (A)	10,33 km ²
Comprimento do canal principal (Lc)	6,6 km
Densidade de drenagem (Dd)	2,5 km/km ²
Densidade hidrográfica (Dh)	4,47 /km ²
Fator de forma (F)	0,28
Relação de relevo (Rr)	52,27 m/km

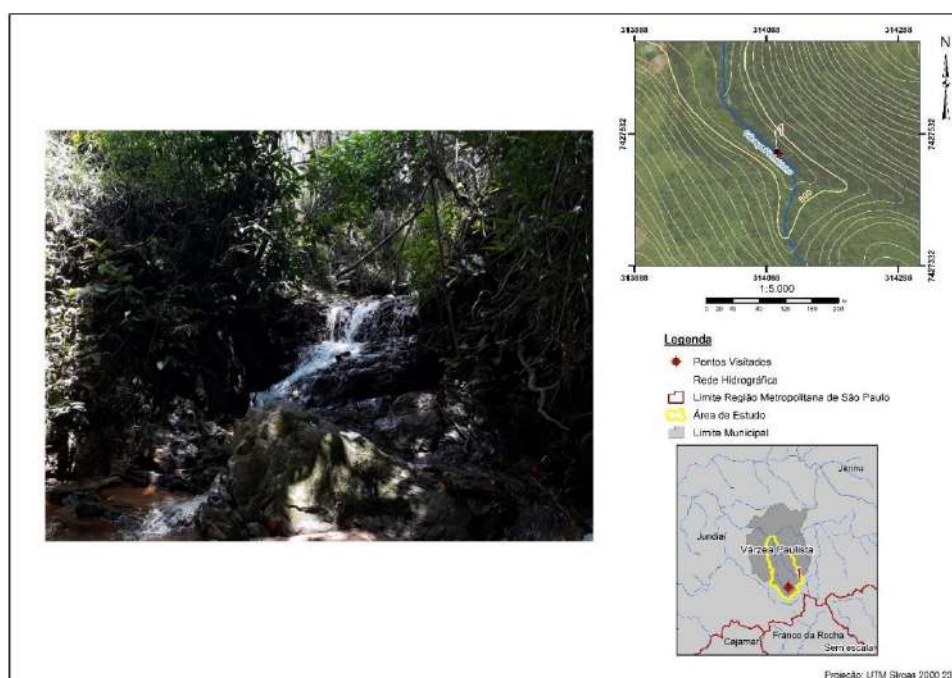
5- Pontos Visitados

Ao longo da visitação dos pontos, foi possível ver as mudanças já causadas pelo homem na área, como a presença diversos tanques particulares ou trechos em que o córrego foi canalizado pelo poder público. O ponto 5 marca a divisão entre o trecho mais natural e o trecho mais canalizado, local onde há a incidência de problemas quando ocorrem chuvas de maior intensidade em um curto período de duração. Já o Ponto 7 é um local onde historicamente já houve inundações em eventos extremos.

Ponto 1:

Compreende uma pequena queda d'água presente no início da Serra do Mursa, com a presença de conglomerados e material transportado ao longo da serra. A presença destes conglomerados é explicada devido a grande variabilidade altimétrica, o que faz com que a velocidade do fluxo d'água seja elevado, aumentando a intensidade da erosão e facilitando o transporte destes sedimentos de médio porte. A **Figura 14** apresenta o **Ponto 1**, além da sua localização na Área de Estudo.

Figura 14: Ponto 1: Cachoeira Serra do Mursa. Fonte: Autor.



Ponto 2:

O **Ponto 2** é representado por uma travessia encontrado logo abaixo os limites da Serra do Mursa, já num local com a presença de chácaras e sítios de pequeno

porte. Próximo ao local é possível encontrar tanques particulares e também é possível analisar a presença de esgoto sendo jogado diretamente no curso d'água. A presença de tanques de contenção implicam numa menor velocidade do fluxo, interferindo na análise flúviométrica. Na imagem apresentada, o córrego passa pela parte mais baixa da via. A **Figura 15** apresenta o **Ponto 2**, assim como a sua localização na Área de Estudo.

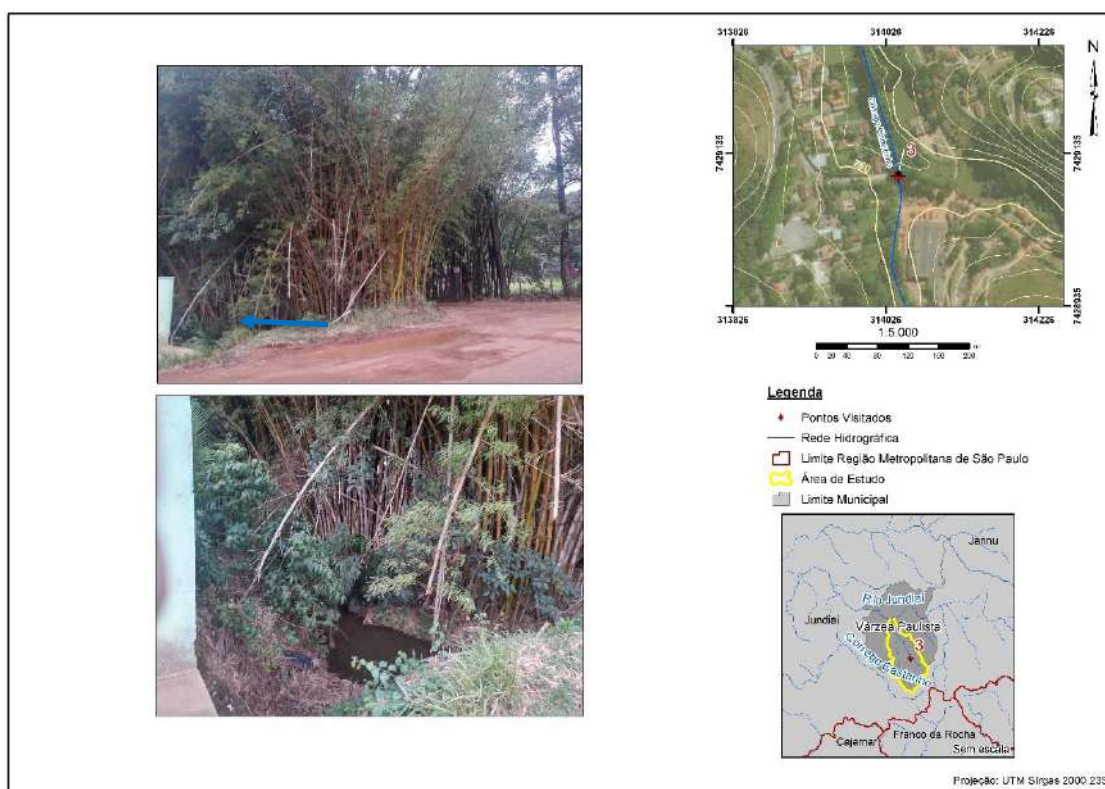
Figura 15: Mapa de Localização do Ponto 2 e arredores. Fonte: Autor.



Ponto 3:

No **Ponto 3** é possível ver o córrego mais abertamente, já que diferente do que foi visto no **Ponto 2**, neste local há uma menor presença da vegetação, ainda que se mantenha um certo nível de vegetação na lateral do córrego, como é possível ver. Neste local há a presença de uma cerâmica (Cerâmica Serra do Mursa) e também há presença de chácaras de pequeno porte com tanques d'água particulares nos aluentes do Córrego Pinheirinho. A **Figura 16** apresenta o **Ponto 3**, assim como a sua localização na Área de Estudo.

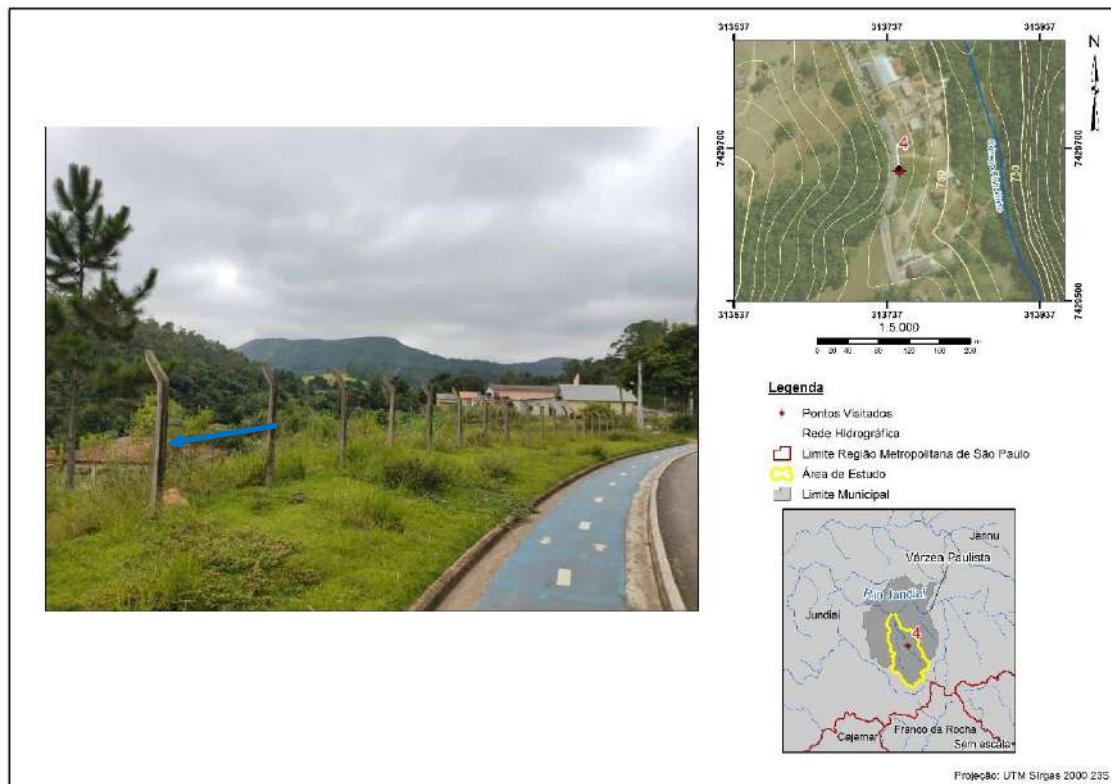
Figura 16: Mapa de Localização do Ponto 3 e arredores. Fonte: Autor.



Ponto 4:

O **Ponto 4** apresenta uma vista geral da vertente média/superior da Serra do Mursa, com a cabeceira ao fundo. É possível ver na imagem a presença de vegetação natural e também reflorestamentos, além de chácaras de pequeno porte nas margens do rio (à esquerda da imagem). Na **Figura 17** é possível ver o **Ponto 4** e os seus arredores.

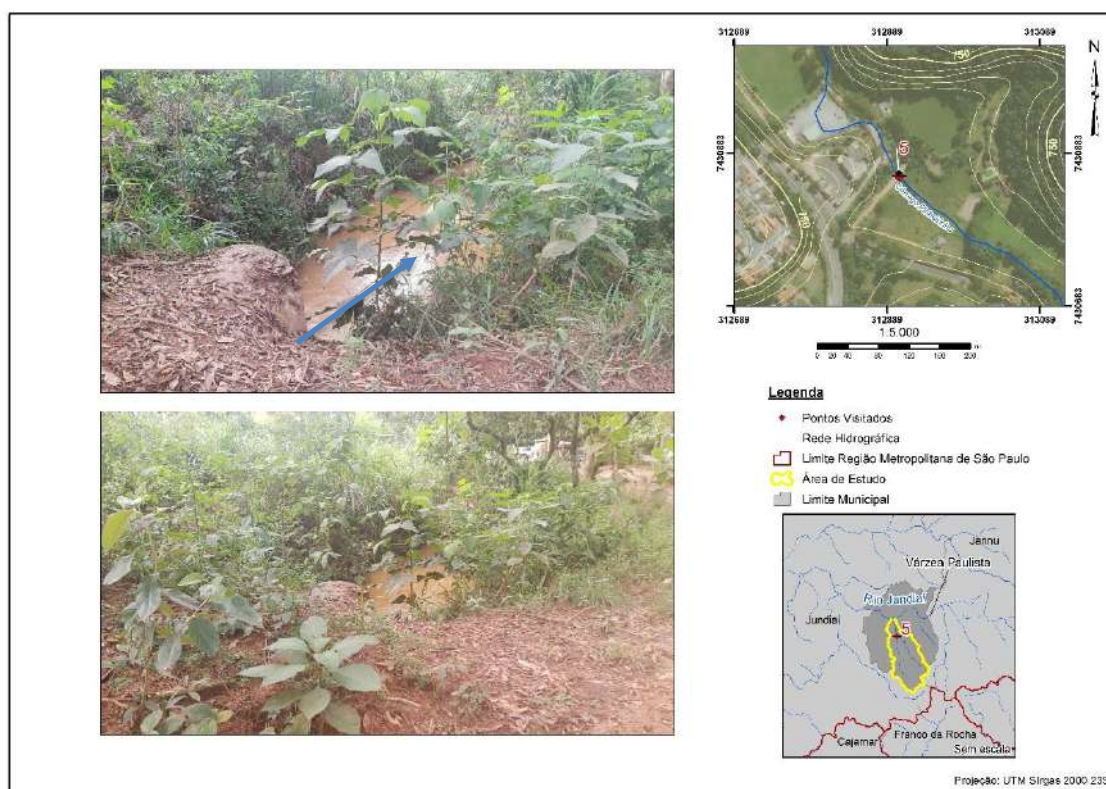
Figura 17: Ponto 4: Rua Arnald Gut Junior. Fonte: Autor.



Ponto 5:

O **Ponto 5** está localizado na média vertente e é marcado por ser o início da mudança no Uso e Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego do Pinheirinho, uma vez que a partir deste ponto existe uma presença maior da urbanização, com uma empresa nos arredores e também um Pesqueiro que capta água diretamente do Córrego do Pinheirinho. A **Figura 18** apresenta o **Ponto 5**, assim como os seus arredores.

Figura 18: Mapa de Localização do Ponto 5 e arredores. Fonte: Autor.



Ponto 6:

O **Ponto 6** é um dos locais de maior criticidade da bacia pois é onde se encontra a transição entre o canal natural e o canal retificado em uma obra dos anos 80. A partir deste ponto em direção a jusante, houveram obras de drenagem, resultando em rebaixamento do leito do canal e maior amplitude da calha do córrego. Neste local foi possível fazer uma comparação na alteração no volume d'água em diferentes eventos. Para efeito de comparação foram utilizados dois eventos, dos dias 29/03/2020 e 02/05/2020. O evento ocorrido no dia 29/03 foi uma chuva convectiva, com um total de 44mm em um curto período de tempo, tendo sua duração máxima 2 horas (Cemaden,2020). Já o evento de 02/05/2020 marcou uma estiagem de 35 dias (Cemaden,2020). A **Figura 19** apresenta o **Ponto 6** e seus arredores, enquanto a **Figura 20** apresenta a comparação da altura da lâmina d'água no mesmo local entre os dois eventos presenciados, evidenciando uma diferença d'água nas duas datas pelo visual, visto que não dispomos dos dados concretos em relação ao canal, onde seria possível fazer uma medição e apresentar tal diferença com maior exatidão.

Figura 19: Ponto 6: Canal Retificado. Fonte: Autor.

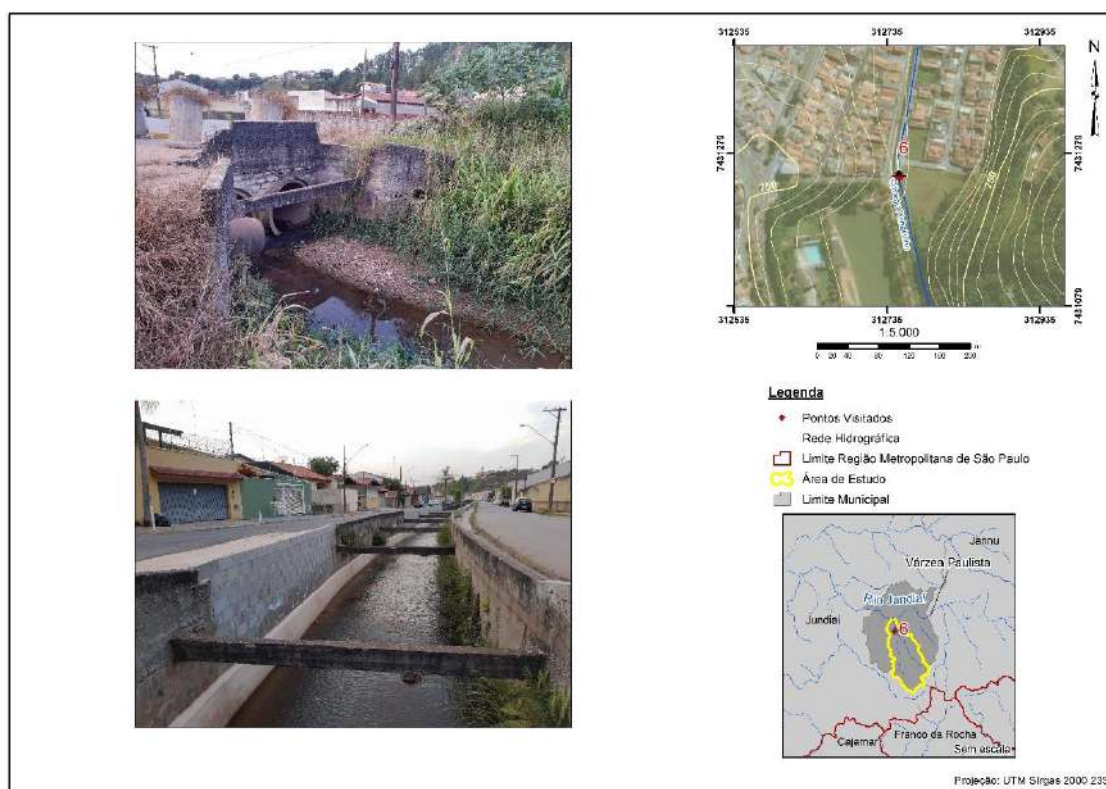


Figura 20: Comparação entre eventos no Ponto 6: Na imagem acima (02/05/2020) uma estiagem de 35 dias. Imagem abaixo (29/03/2020), uma chuva convectiva de 44 mm. Fonte: Autor.



Ponto 7:

Já o **Ponto 7** apresenta o final do Córrego do Pinheirinho, perto do exutório no Rio Jundiáí. Neste local já houveram relatos de inundação no passado, assim como uma presenciada no dia 27/11/2020. A Prefeitura Municipal informou que foram realizadas obras de micro-drenagem no local, fazendo com que diminuíssem o número de eventos, contudo no evento do dia 27 de Novembro ocorreu uma inundação no local, fazendo com que parte da estrutura do canal fosse danificada, como é possível ver na imagem. A **Figura 21** apresenta o **Ponto 7** e seus arredores. A **Figura 22** apresenta imagens da inundação causada no dia 27/11, quando segundo informações obtidas na prefeitura, ocorreu uma chuva de 70mm em menos de 1 hora, resultando em diversos problema ao redor do município, inclusive na Área de Estudo.

Figura 21: Mapa de Localização do Ponto 7 e seus arredores. Fonte: Autor.

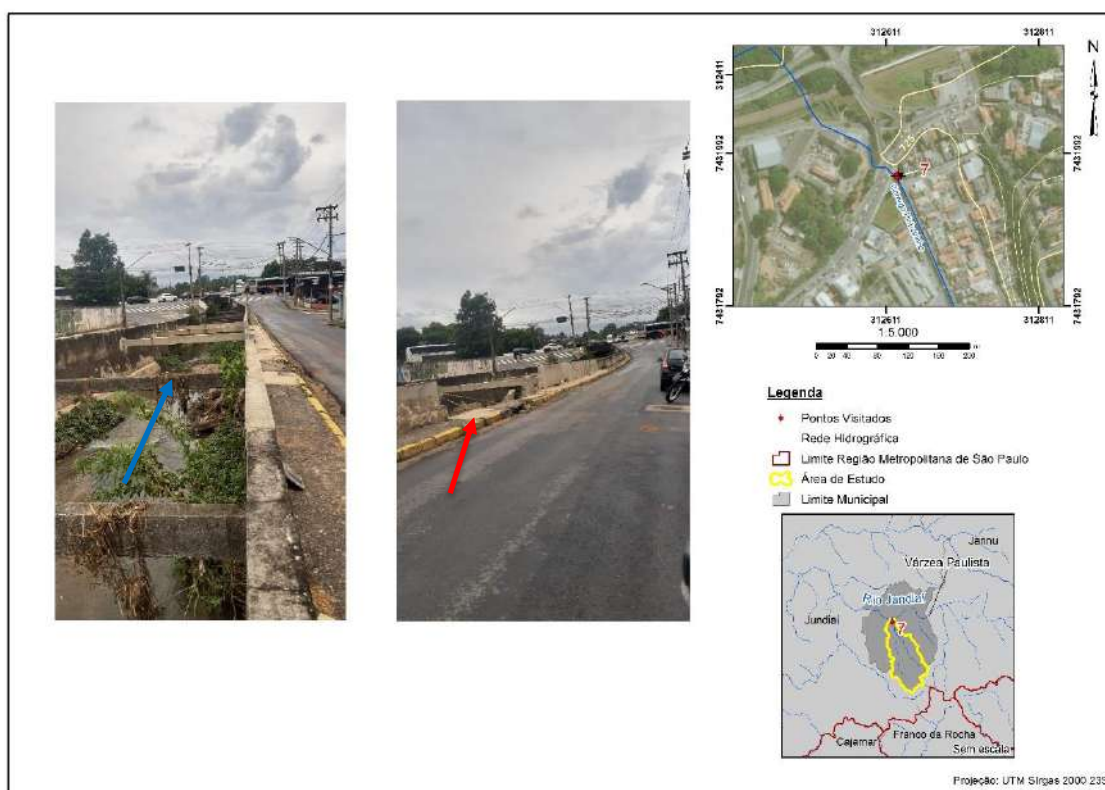


Figura 22: Evento registrado no dia 27/11, com chuva de cerca de **70mm** em menos de uma hora. Fonte: Autor.



6- Alterações Hidrodinâmicas provocadas pela Urbanização Intensificada

Silveira (2000, *apud Kirkby, 1978*) define o ciclo hidrológico como fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. O vapor de água presente na atmosfera, sob uma determinada condição, se condensa, formando gotículas de água que se mantêm no ar e se agrupam ao vapor de água, partículas de poeira e gelo, formando um aerossol chamado de nuvem e posteriormente ocorre a principal transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre, a precipitação.

Ao chegar a um solo com cobertura vegetal, parte do volume da chuva é interceptado pelas folhas e caules, de onde evaporam. Já a água que atinge o solo pode divergir para diversos caminhos. Por ser algo poroso, há a infiltração de água no solo enquanto o mesmo não se satura; a partir do momento em que ocorre a saturação superficial, o excesso não infiltrado da precipitação gera o escoamento superficial, que impulsionado pela gravidade rumo as cotas mais baixas, manifestando-se inicialmente na forma de filetes de água que se moldam ao relevo do solo. A presença de cobertura vegetal contribui para exercer um obstáculo o escoamento e favorecer a infiltração durante o percurso. A água produzida pelas vertentes tem como destino a rede de drenagem, que a transporta à seção da bacia. A **Figura 23** apresenta o ciclo hidrológico como definido por Kirkby (1978) e apresentado por Silveira (2000), enquanto que a **Figura 24** apresenta a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica, apresentada a partir de um hidrograma.

Figura 23: Ciclo hidrológico. Fonte: Silveira (2000).

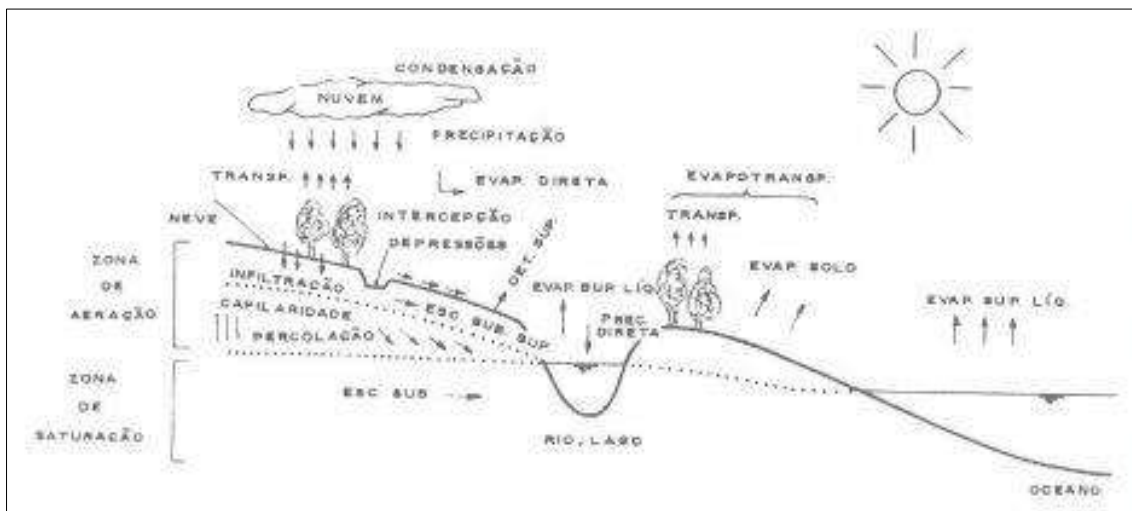
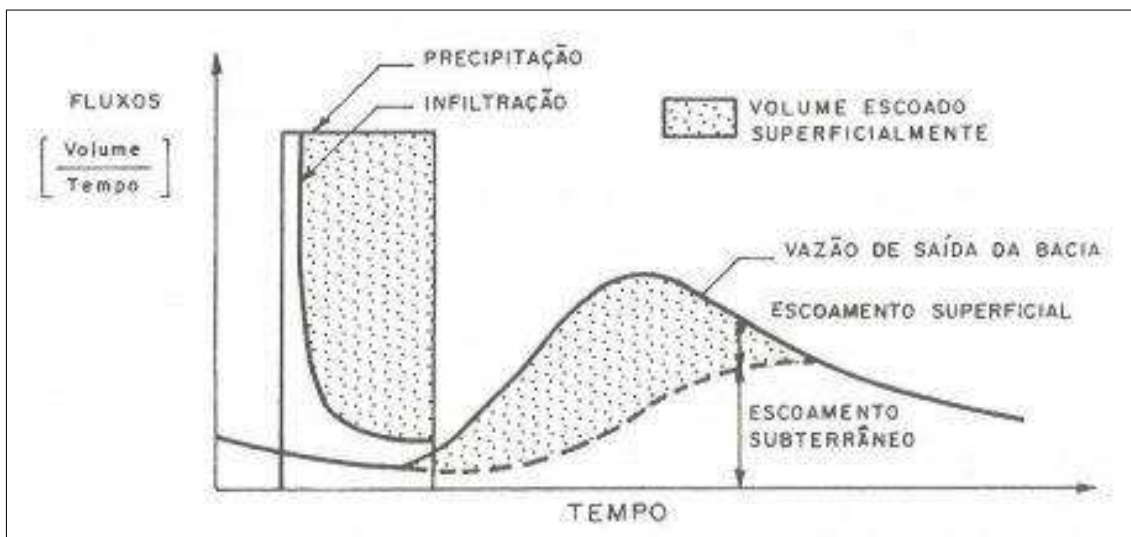


Figura 24: Resposta Hidrológica de uma Bacia Hidrográfica. Fonte: Silveira (2000).



O processo de urbanização de uma bacia hidrográfica passa por diversos estágios, sendo então necessário defini-los. Essa divisão pode ser feita em três, de acordo com Rodrigues (2005), sendo eles:

- 1) Estágio pré perturbação: cenário predominantemente rural, onde os *inputs* do ciclo hidrológico se encontram em equilíbrio;
- 2) Estágio de perturbação ativa: período em que o solo está sendo exposto às forças exógenas pelo maior ritmo de atividades construtivas;

- 3) Estágio pós-perturbação: cenário em que o processo construtivo finaliza e uma nova morfologia se estabelece, neste cenário as superfícies estão pavimentadas;

No estágio pré-urbanização o ciclo hidrológico se encontra em constante movimento, contudo em equilíbrio, devido a capacidade de infiltração da água e o maior tempo de concentração de água na superfície, além da não ocupação urbana das margens dos rios e córregos.

Moroz Caccia Gouveira (2010) afirma que as mudanças decorrentes da urbanização, sejam elas através da modificação das formas ou da substituição de materiais superficiais, modificam o ciclo hidrológico de maneira agressiva e sem reversão, alterando também os processos morfodinâmicos. A retirada da cobertura vegetal afeta a evapotranspiração, diminui a capacidade de infiltração da água e aumenta o escoamento superficial.

Ao aumentar o escoamento superficial, ainda de acordo com Moroz Caccia Gouveira (2010), o tempo de concentração da água na bacia hidrográfica diminui, ocasionando em picos de vazão mais rápidos e de maior intensidade, frequentemente resultando em eventos extremos. O solo desprotegido também se torna mais suscetível à maior produção de sedimentos, principalmente no estágio de perturbação ativa, quando há a retirada da cobertura vegetal para eventuais construções e pavimentos, período em que o solo fica exposto, podendo até causar erosões de grande porte (principalmente em bacias cuja pedologia local contribua para o fenômeno) ou assoreamento no leito dos canais. Ao passo em que a urbanização se intensifica, a produção de sedimentos tende a diminuir.

No estágio pós perturbação, a superfície encontra-se impermeabilizada e o processo de urbanização intensa já alterou o ciclo hidrológico, diminuindo o tempo de concentração do escoamento superficial e aumentando o volume de água que rumo em direção a foz da rede de drenagem. TUCCI (1997) afirma que ocorre também um aumento das vazões máximas em até 7 vezes, além da desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos e a deterioração da qualidade da água.

A urbanização de forma não orientada também gera impactos pela instalação de infraestrutura urbana de maneira desorganizada, segundo TUCCI (1997), são elas:

- 1) Pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento;
- 2) Redução da seção do escoamento;
- 3) Deposição e obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos
- 4) Projetos e obras de drenagem inadequadas

Ainda de acordo com TUCCI (1997), essas condições são decorrentes, em sua maioria, da falta de considerar o planejamento da rede pluvial e da ocupação das áreas de risco quando se formulam os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano.

TUCCI (1997) diferencia as enchentes urbanas em dois processos, são eles:

- 1) *Enchentes devido à urbanização*: Correspondem ao aumento da frequência e magnitude das enchentes devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede para a condução do escoamento. Posteriormente, podem ocorrer obras de infraestrutura que prejudicam no escoamento do fluxo;
- 2) *Enchentes em áreas ribeirinhas*: São as enchentes que atingem a população que ocupa o leito maior dos rios. As enchentes em questão ocorrem pelo processo natural onde o rio ocupa o seu leito maior num evento extremo, com um tempo de retorno da ordem de 2 anos.

CUSTÓDIO (2012) procurou construir um conceito integrador das dimensões natural e social das inundações, e chegou ao conceito de *situação de desastre*, onde o termo *situação* remete a ideia de simultaneidade, num espaço-tempo, das múltiplas dimensões que envolvem. Já o termo *desastre* evidencia uma *situação* danosa que está a ocorrer.

Além dos dois processos citados, TUCCI (1997) também descreve o impacto no ciclo hidrológico, são eles:

- 1) Redução da infiltração do solo;
- 2) Aumento do escoamento superficial;

- 3) Redução do escoamento subterrâneo e consequente diminuição do lençol freático;
- 4) Redução da evapotranspiração;

A **Figura 25** apresenta o balanço hídrico nos estágios pré e pós perturbação e a **Figura 26** apresenta a resposta ao escoamento em ambos os estágios:

Figura 25: Balanço Hídrico Pré e Pós perturbação. Fonte: TUCCI (1997).

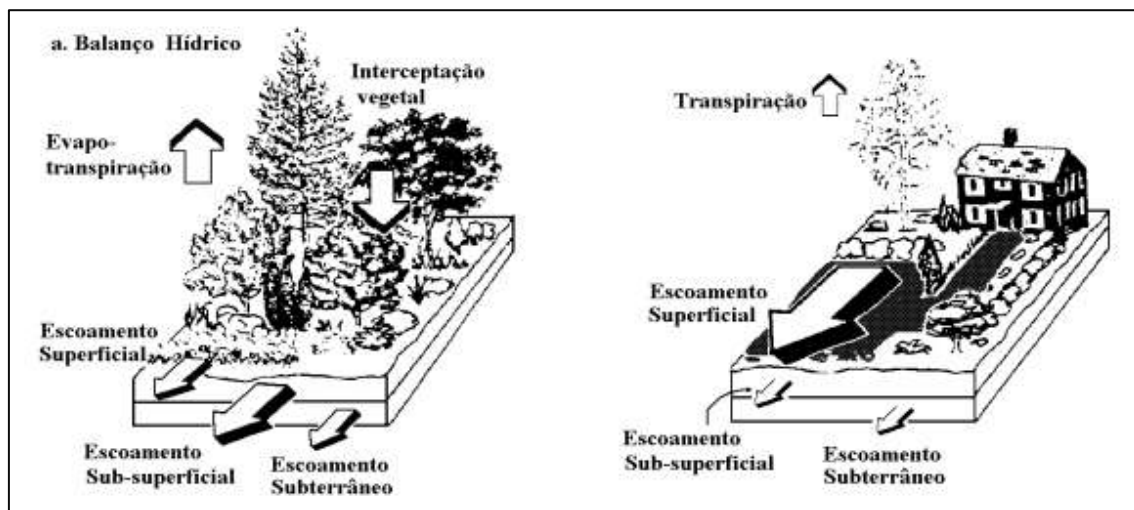
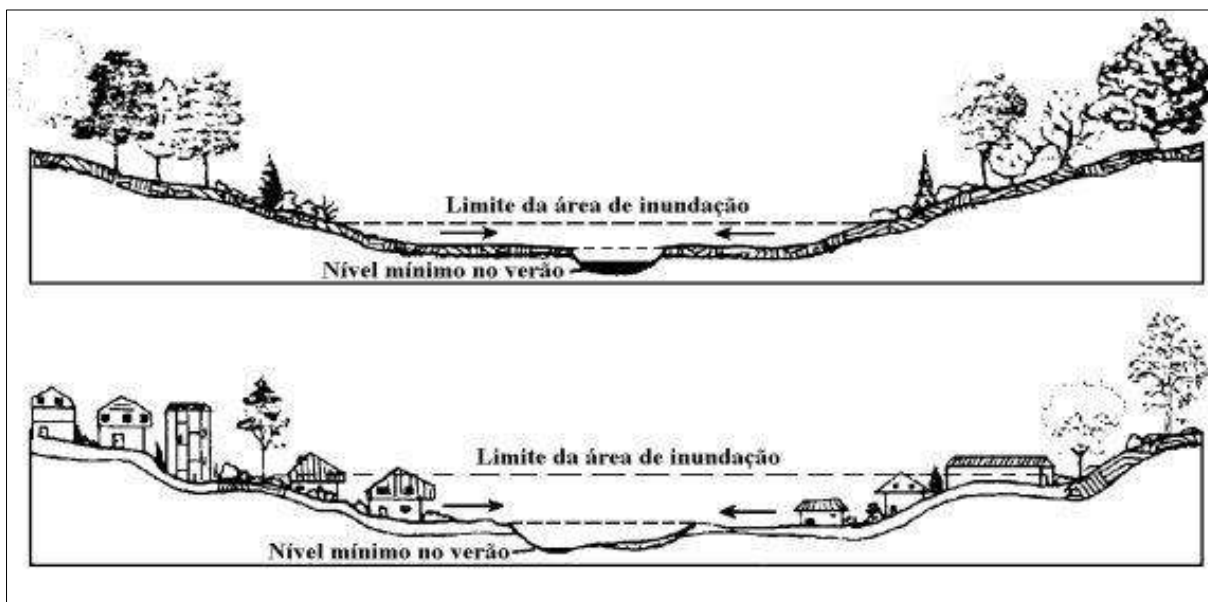


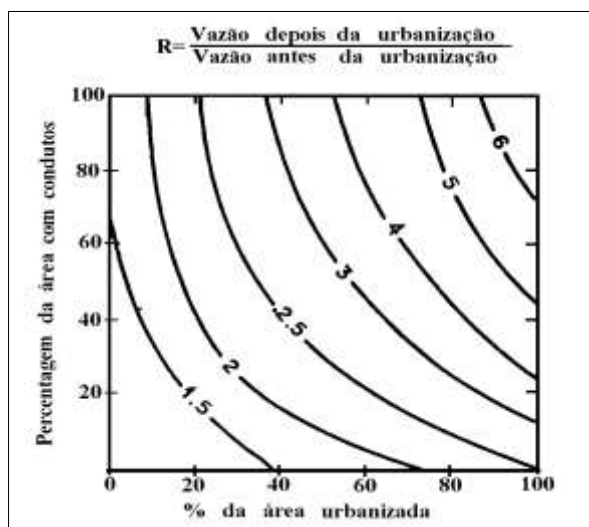
Figura 26: Resposta da geometria do escoamento. Limite da área de inundação é o limite do leito maior. Fonte: TUCCI (1997).



A partir da mudança no ciclo hidrológico, com o menor tempo de concentração, decorrido da impermeabilização do solo e a ocupação dos leitos dos rios, os eventos extremos começam a ocorrer com uma maior recorrência. O efeito da

urbanização sobre a vazão é algo complexo de ser calculado, sendo possível somente ter o valor exato se houver registros pré e pós perturbação, com uma grande quantidade de registro sendo feitos no tempo. Leopold (*apud* Tucci, 1997) estimou em até 7x o aumento do pico da vazão num estágio pós perturbação, calculando a área urbanizada em função da porcentagem da área com condutos, como pode ser visto na **Figura 27**:

Figura 27: Efeito da Urbanização sobre a vazão média de enchente numa bacia de 1mi². Fonte: Leopold (*apud* Tucci 1997).



De acordo com TUCCI (1997), com os processos decorrentes da urbanização, no pós-perturbação as *situações de desastre* tendem a apresentarem picos de cheias maiores e mais rápidos, além de aumento do volume de água. Enquanto que no estágio pré-perturbação ocorre um maior escoamento de base, um pico menor e menos rápido e uma recessão gradual; o evento é mais duradouro no tempo, contudo menos danoso.

Portanto, as *situações de desastre* têm um efeito danoso muito maior nas cidades, que são resultantes e condicionantes da urbanização como processo social. A cidade-forma e a urbanização-processo formam uma unidade que deve ser considerada associadamente no enfrentamento das *situações de desastre*.

7- Modelagem Hidrológica

A necessidade de uma gestão eficiente das *situações de desastre* exerce uma pressão para que o Poder Público se organize para prevenir e estimar os eventos dessa natureza. A modelagem hidrológica se apresenta como uma ferramenta que permite representar o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, possibilitando estimar o escoamento superficial (vazão), com base em informações de precipitação (IPT, 2017). Tucci (1997) afirma que os modelos hidrológicos podem ser concentrados quando toda a bacia hidrográfica é representada por uma precipitação média, e podem ser distribuídos em sub-bacias quando se trabalha com uma variabilidade maior de dados e parâmetros físicos, como uso e ocupação de solo, declividade e etc.

Os dois modelos hidrológicos mais utilizados para a estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas são o Método Racional e o Método do Número da Curva (Hidrograma Unitário do SCS/NRSC). Neste trabalho foi optado pela utilização do Método do Número da Curva, devido a alta variabilidade do uso e ocupação do solo da bacia, além de ser o método que melhor representaria as alterações nos cenários urbanos.

7.1- Método do Número da Curva ou Hidrograma Unitário do SCS/NRCS

O Hidrograma é o gráfico da variação da vazão que resulta de uma chuva efetiva, que pode ser unitária (por exemplo, uma chuva de 1mm ou de 1cm), assim o gráfico passa a ser denominado de Hidrograma Unitário. De acordo com Tucci (1997), o método do hidrograma unitário baseia-se em propriedades do hidrograma do escoamento superficial (**Figura 24**). O hidrograma de uma onda de cheia é formado pela sobreposição de dois afluxos distintos, um proveniente do escoamento superficial e outro do escoamento subterrâneo.

O escoamento superficial e o escoamento subterrâneo possuem propriedades diversas, sendo, portanto, comum apenas o estudo separado do hidrograma de escoamento superficial, que melhor caracteriza o fenômeno das cheias (IPT, 2017).

De acordo com Tucci (1997), o método Hidrograma Unitário Sintético foi desenvolvido em meados de 1950, pelo *Soil Conservation Service* (SCS), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, com o objetivo de obter um

hidrograma adimensional, resultado da análise de um grande número de hidrogramas unitários originados de diversas localizações e extensões nos Estados Unidos. Diversos autores buscaram adaptar o método do SCI para as condições naturais, sendo destaque o trabalho realizado por Setzer e Porto (1979), onde adaptaram o método para as condições do Estado de São Paulo.

A fórmula proposta pelo SCI e que será utilizada neste trabalho, é apresentada na **Equação 05**:

$$Q = \frac{(P - \alpha X S)^2}{(P - \alpha X S)^2} \text{ com } P \geq \alpha x S$$

Onde:

Q: escoamento superficial direto (mm);

P: Precipitação (mm);

S: Retenção potencial do solo (mm);

O parâmetro descrito como $\alpha \times S$ é a abstração inicial, que corresponde à diferença inicial entre o total precipitado durante uma chuva e a precipitação ativa. A precipitação ativa é a porção da chuva que efetivamente se transforma em escoamento direto. A abstração inicial tem grande influência nas vazões encontradas em sub bacias, uma vez que se houver uma maior interceptação e infiltração, nem toda a chuva se transformará em escoamento direto (IPT, 2017).

Apesar da recomendação do SCS em utilizar um valor de $\alpha = 0,2$, diversos autores indicam que esse valor seja variado de acordo com o índice de urbanização da bacia. Tomaz (2011) indica que sejam utilizados valores de $\alpha = 0,1$ para bacias urbanizadas, indicando uma abstração inicial menor, gerando mais precipitação efetiva. Baseando-se em IPT (2017), neste trabalho será adotada uma ponderação para se definir o α de acordo com o percentual de ocupação urbana de cada sub bacia analisada.

O parâmetro S depende do tipo do Número da Curva e tem os valores tabelados, tendo sido adotada, portanto, a **Equação 6**:

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

O parâmetro CN, também denominado como Número da Curva, ou *Curve Number*, depende de três fatores, assim como definido por Setzer e Porto (1979), são eles:

- 1) Umidade antecedente do solo;
- 2) Tipo de solo;
- 3) Ocupação do solo;

Quanto a umidade antecedente do solo, são as seguintes condições:

- a) Condição I: solos secos pouco acima do ponto de murchamento;
- b) Condição II: frequentemente em épocas chuvosas, em que as chuvas nos últimos dias totalizam entre 15 e 400mm; e
- c) Condição III: Solos quase saturados, após períodos de chuvas fortes (5 dias) ou baixas temperaturas, onde o efeito da evaporação é reduzido.

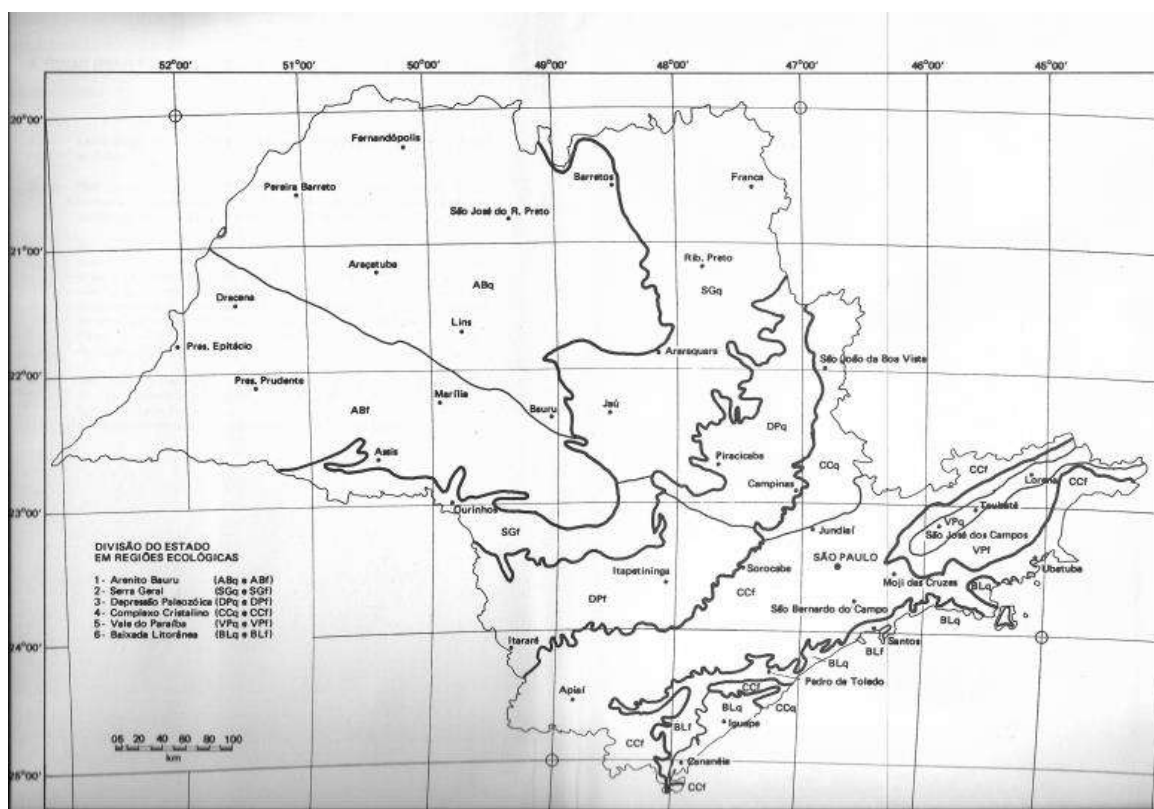
Neste trabalho foi optado em adotar os valores de CN correspondentes à condição II, por representar uma situação de média saturação solo. Quanto ao tipo de solo, o SCL dividiu os solos em cinco grupos hidrológicos, sendo todos eles adotados por Setzer e Porto (op. cit.), como pode ser visto a seguir:

- **Grupo A:** Solos arenosos com teor de argila total inferior a 8 %. Não há rocha nem camadas argilosas e nem mesmos densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de humos é muito baixo, não atingindo 1%;
- **Grupo B:** Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, este limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de humos podem subir, respectivamente, a 1,2% e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial;
- **Grupo C:** Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, estes dois limites máximos podem ser 40% e 1,5m. Nota-se, a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no grupo B, mais ainda longe das condições de impermeabilidade;

- **Grupo D:** Solos argilosos (30 a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a 50 cm de profundidade, ou solos arenosos como os do Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados;
- **Grupo E:** Solos barrentos como os do Grupo C, mas com a camada argilosa impermeável ou com pedras, ou sem tal camada, mas com teor total de argila superior a 40%. No caso de terras roxas, este teor pode subir a 60% (No caso do grupo D, 45%).

De acordo com Setzer e Porto (1979), cada região do estado de São Paulo recebeu divisões denominadas zonas ecológicas, as quais ponderam o percentual de cada um dos grupos hidrológicos do solo. A divisão das zonas ecológicas do solo proposta pode ser vista na **Figura 28**:

Figura 28: Mapa das Zonas Ecológicas propostas por Setzer e Porto (1979).



A região da área de estudo encontra-se no que é chamado de Zona Ecológica Complexo Cristalino, sendo esta dividida em 4 grupos. A partir do conhecimento do solo obtido no mapeamento feito por Rossi (2017), foi definido que a área de estudo faz parte do nº do tipo de solo 30 (Setzer e Porto, 1979). Uma área com a presença de gnaisses e micaxistos, com solos

alaranjados tendendo para o acastanhado e vermelho marrom, com um teor de argila de 20 a 30% e uma pequena área dedicada a pastagem e sem cultivo no alto das serras.

Já os valores específicos de CN para cada tipo de uso do solo, existem vários autores que tabelaram valores, tanto urbanas quanto rurais. Neste trabalho, para a área rural, os parâmetros de CN foram obtidos através de Setzer e Porto (op. cit.) enquanto que os valores de CN para a área urbana foram baseados em Canholi (2014).

Neste trabalho, a implementação do método do Hidrograma Unitário Sintético foi realizada com o auxílio do software *HEC-HMS*, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center*, do Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano. O software permite simular processos de chuva-vazão em bacias hidrográficas através de modelos apresentados pela literatura. Alguns dados de entrada deste trabalho também foram obtidos através do software *ArcGis*.

7.2- Dados de entrada do Modelo Hidrológico

Para se adquirir um resultado utilizando a plataforma *HEC-HMS*, são necessários os seguintes parâmetros: CN, Tempo de Concentração, Lag Time, Parcela Impermeável, Abstração Inicial e Chuva de Projeto.

Parâmetro CN

O mapa de uso e ocupação do solo foi feito a partir de imagens disponibilizadas pela ESRI, procurando utilizar do maior detalhe possível para definir a ocupação atual. Para o cenário de “Urbanização Intensificada” e “Com Métodos de Conservação” foram feitas alterações de acordo com o uso atual.

Os índices de ponderação referentes ao Grupo do Solo 30 (Setzer e Porto, 1979) é a seguinte:

Grupo A: 0 % / Grupo B: 10 % / Grupo C:30 / Grupo D:30 / Grupo E:30

No cenário de “Urbanização Intensificada”, procurou-se definir como “Urbanizado” os locais onde foram identificadas residências ou que já haviam sinais de uma possível urbanização consolidada. Os Córregos do Mursa e

Pinheirinho foram utilizados como vetores para essa urbanização, uma vez que as propriedades em sua maioria se encontram ao redor. Também para este cenário, foi buscado adaptar o valor de CN para um cenário onde a quantidade de água escoada superficialmente é maior, atribuindo índices referentes a uma área com muito pouca ou nenhuma conservação. No “Cenário com Métodos de Conservação” os parâmetros utilizados representam uma realidade em que a ocupação do solo fora direcionada como forma de mitigar os eventos extremos. Neste cenário, os valores de CN utilizados são os que representam maior infiltração de água no solo, assim o escoamento superficial por uso do solo tende a ser menor. Neste cenário de ocupação as Vias Pavimentadas foram substituídas por Vias Drenantes, que aumentam a capacidade de infiltração da água. Após a definição dos valores de CN, foi utilizado o software *ArcGis* para a construção de um arquivo *raster* contendo os valores de CN distribuídos para cada tipo de uso do solo. Para a extração de dados do arquivo *raster* foi utilizada a ferramenta *Zonal Statistic As Table* para extrair a média de CN para cada sub bacia identificada.

Para a definição do uso e ocupação do solo, foram utilizadas as seguintes classes, vistas na **Tabela 4**,

Tabela 4: Classes do Uso e Ocupação do Solo

Área Urbana
Área Urbana
Área Urbana em Consolidação
Linha de Trem/CPTM
Via Pavimentada
Campo Antrópico
Área Verde
Área Rural
Chácaras/Sítios
Campo
Corpo-d'água
Cultura Perene
Pecuária
Solo Exposto
Via sem Pavimentação
Reflorestamento
Mata

Tempo de Concentração (Tc)

De acordo com IPT (2017), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir com a área de estudo. Sendo, portanto, calculado a partir da cabeceira até a foz do Córrego no Rio Jundiá. Apesar de sua grande importância nos modelos hidrológicos, o tempo de concentração é um valor difícil de ser obtido. McCuen (1993) afirma que o verdadeiro valor do tempo de concentração nunca será encontrado.

Neste trabalho, foi utilizada a equação proposta por Kirpich:

$$t_c = 57 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385}$$

Onde:

t_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (km);

S = declividade do talvegue (m/km), média ou equivalente.

As informações referentes ao comprimento do talvegue (L) e a declividade (S) foram obtidas através do MDT produzido via software *ArcGIS*. Os resultados de t_c (tempo de concentrações) obtidos foram corrigidos de acordo com a taxa de urbanização de cada sub bacia, utilizando-se da seguinte formula:

$$\beta = 1,0 - 0,5x\%Urb$$

Lag Time

O software *Hec-Hms* utiliza-se o *Lag Time* (tempo de retardo) ao invés de tempo de concentração, portanto o SCS recomenda que seja adotado para este parâmetro 60% do valor do tempo de concentração, ou seja: **Tlag = 0,6 x tc**.

Parcela impermeável do solo

A parcela impermeável do solo é definida através da área composta por estrada pavimentada e corpos-d'água.

Abstração Inicial

A abstração inicial é obtida através da ponderação entre a quantidade de área urbana e rural da bacia (IPT, 2017). Quando a bacia é completamente rural, utiliza-se o fator $\alpha = 0,2$, enquanto que em uma bacia totalmente urbanizada o $\alpha = 0,1$.

Chuva de Projeto

A chuva de projeto consiste numa precipitação intensa que possa ocorrer na área da bacia. Esse valor é alcançado, preferencialmente, através de análise dos pluviômetros disponíveis. O tempo de coleta também é fundamental, uma vez que representaria com mais fidelidade o cenário da realidade. Devido à falta de dados de chuva no município de Várzea Paulista, esta informação foi obtida através do trabalho feito por DAEE (2018), utilizando-se da equação de chuva da cidade mais próxima de Várzea Paulista: Franco da Rocha. A **Tabela 5** a seguir apresenta as precipitações intensas para o município de Franco da Rocha, além do seu tempo de duração e seu tempo de retorno.

Tabela 5: Previsão de máximas alturas de chuvas, em mm. Fonte: DAEE (2018).

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	15,2	20,0	23,2	25,0	26,3	27,2	30,2	33,2	36,1
20	23,8	31,4	36,4	39,3	41,2	42,8	47,5	52,2	56,8
30	29,4	38,9	45,1	48,6	51,1	53,0	58,8	64,6	70,4
60	39,3	51,6	59,8	64,4	67,7	70,1	77,8	85,4	93,0
120	48,6	63,1	72,7	78,1	81,9	84,8	93,8	102,7	111,6
180	53,7	69,0	79,1	84,9	88,9	91,9	101,4	110,9	120,3
360	62,0	78,0	88,7	94,6	98,8	102,1	112,0	121,9	131,7
720	70,1	86,3	97,0	103,1	107,3	110,6	120,6	130,6	140,6
1080	74,9	91,0	101,7	107,7	111,9	115,2	125,2	135,2	145,1
1440	78,3	94,4	105,0	111,0	115,2	118,4	128,4	138,3	148,1

Para este trabalho, utilizou-se a duração de 180 minutos para que a chuva contemplasse o tempo de concentração de toda a bacia, garantindo que todas as sub bacias seriam consideradas durante o modelo. O período de retorno escolhido foi de 100 anos, garantindo uma segurança maior e resultados mais robustos.

8- Resultados

8.1 - Cenário Atual

Neste cenário, os parâmetros de CN foram obtidos através do uso e ocupação via foto interpretação de imagem de satélite de 2021. Visitas a campo foram também responsáveis para definir o estado de conservação de alguns parâmetros, como Matas, Reflorestamento e Pecuária. A **Tabela 6** apresenta os valores de CN para cada Uso do Solo, a **Figura 29** apresenta o Uso e Ocupação do Solo, a **Figura 30** apresenta o *raster* com os valores de CN para toda a bacia.

Figura 29: Mapa do Uso e Ocupação do Solo – Atual. Fonte: Autor.

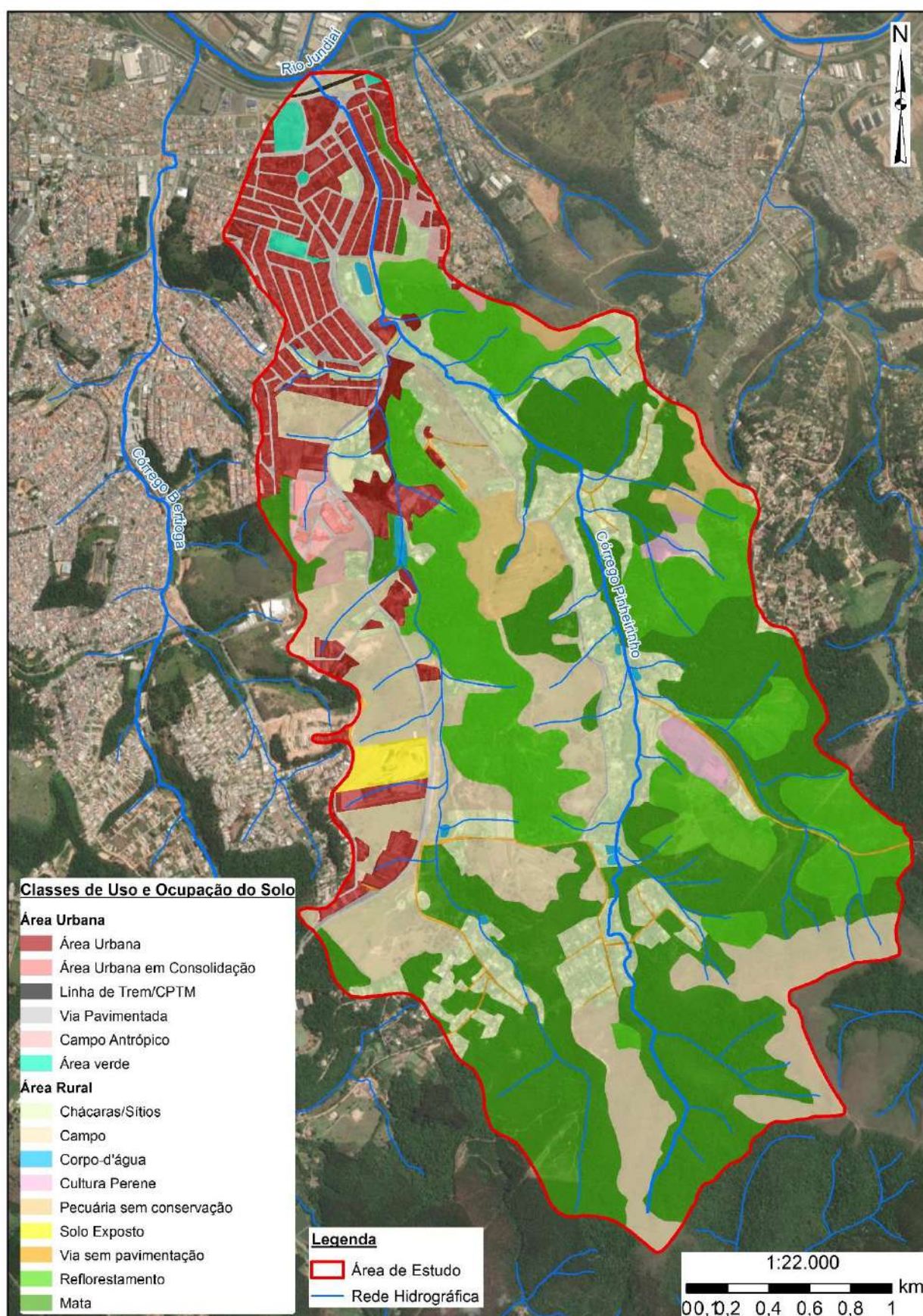
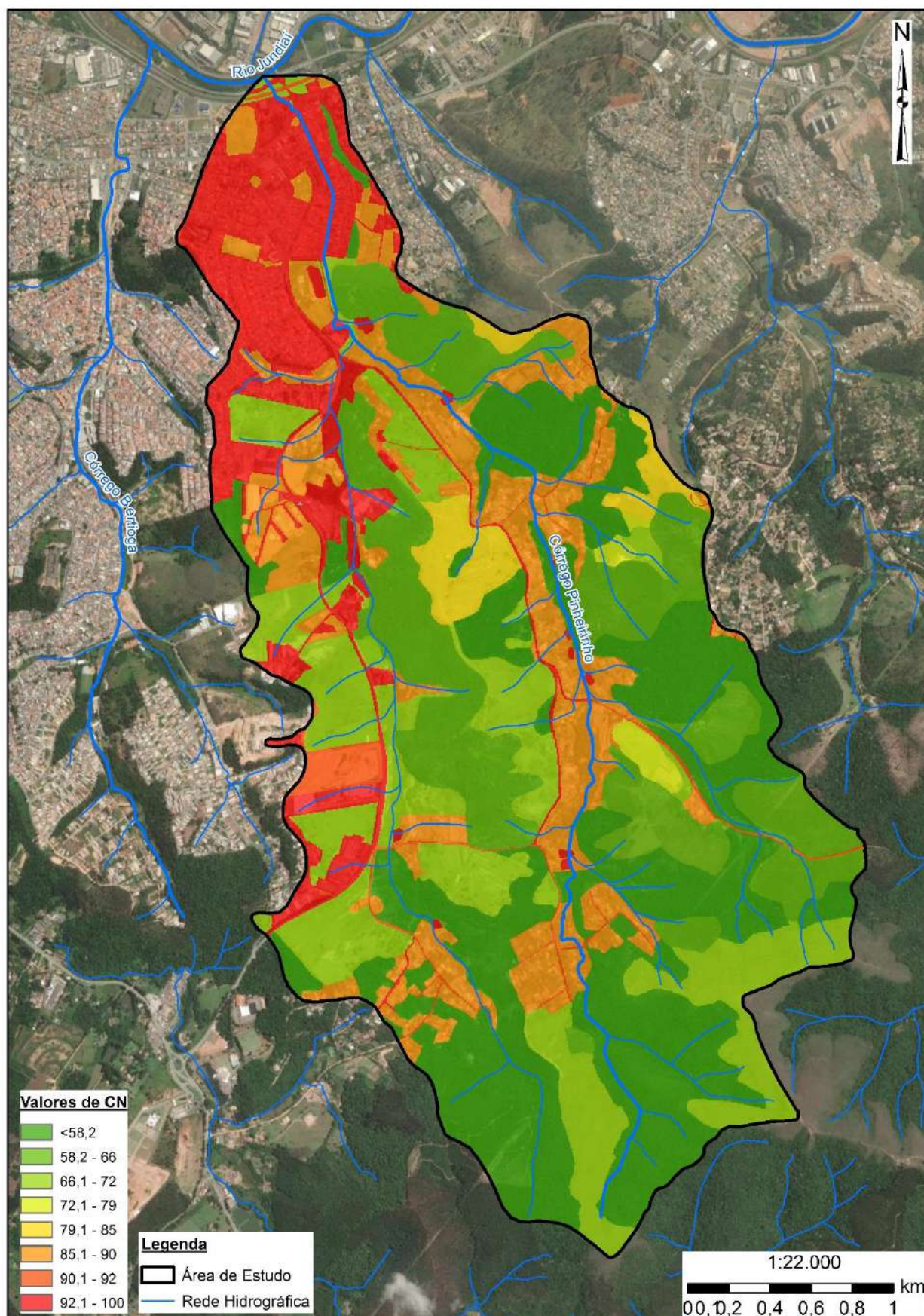


Tabela 6: Valores de CN - Cenário Atual. Fonte: Autor.

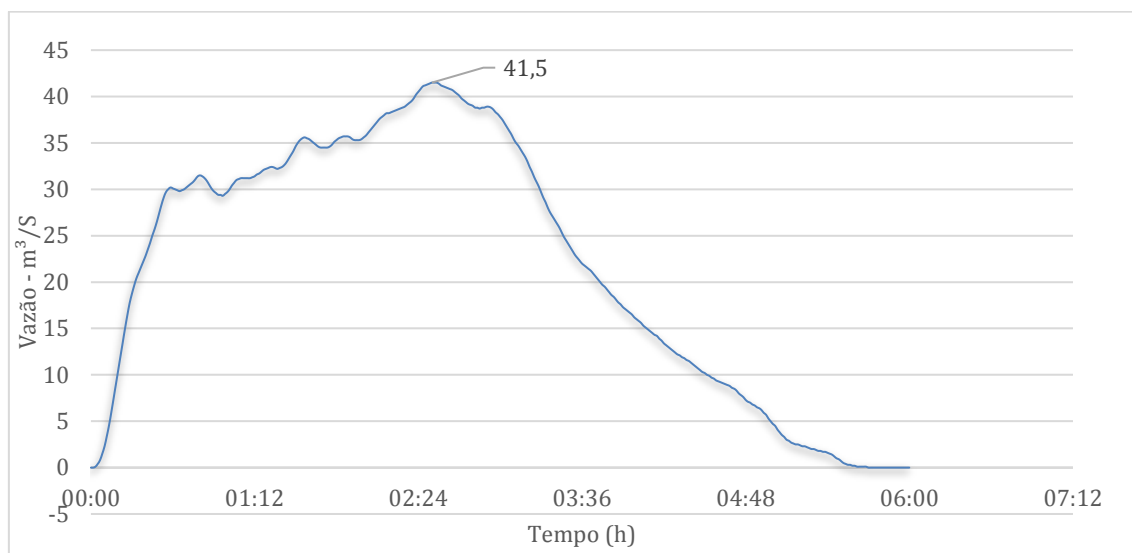
Classe	CN
Área verde	85,2
Área Urbana	92,5
Chácaras/Sítios	85,9
Corpo-d'água	100
Área Urbana em Consolidação	87,9
Solo Exposto	90,5
Mata	58,2
Reflorestamento (Pinus)	65,9
Cultura Perene	73
Campo	66,8
Campo Antrópico	85,2
Linha de Trem/CPTM	91,9
Pecuária sem conservação	79,8
Via sem pavimentação	91,9
Via Pavimentada	98

Figura 30: Valores de CN na Bacia - Cenário Atual. Fonte: Autor.



Após inserir todos os dados de entrada no software *Hec-Hms*, foi obtido o pico de vazão atingido no período de tempo. Todo o processo de cheia da bacia para uma chuva de 3 horas dura aproximadamente 6 horas, como é possível ver no hidrograma abaixo, o **Gráfico 2**.

Gráfico 2: Hidrograma - Cenário Atual. Fonte: Autor.



O pico de vazão no cenário atual é de 41,5 m³/s, atingindo este valor exatamente às 2 horas e 30 minutos de evento. Por termos de comparação, foi buscado verificar nos arquivos da prefeitura se havia alguma modelagem hidrológica para o córrego abaixo, e encontrou-se no plano de macrodrenagem feito pelo município, produzido no ano de 2009.

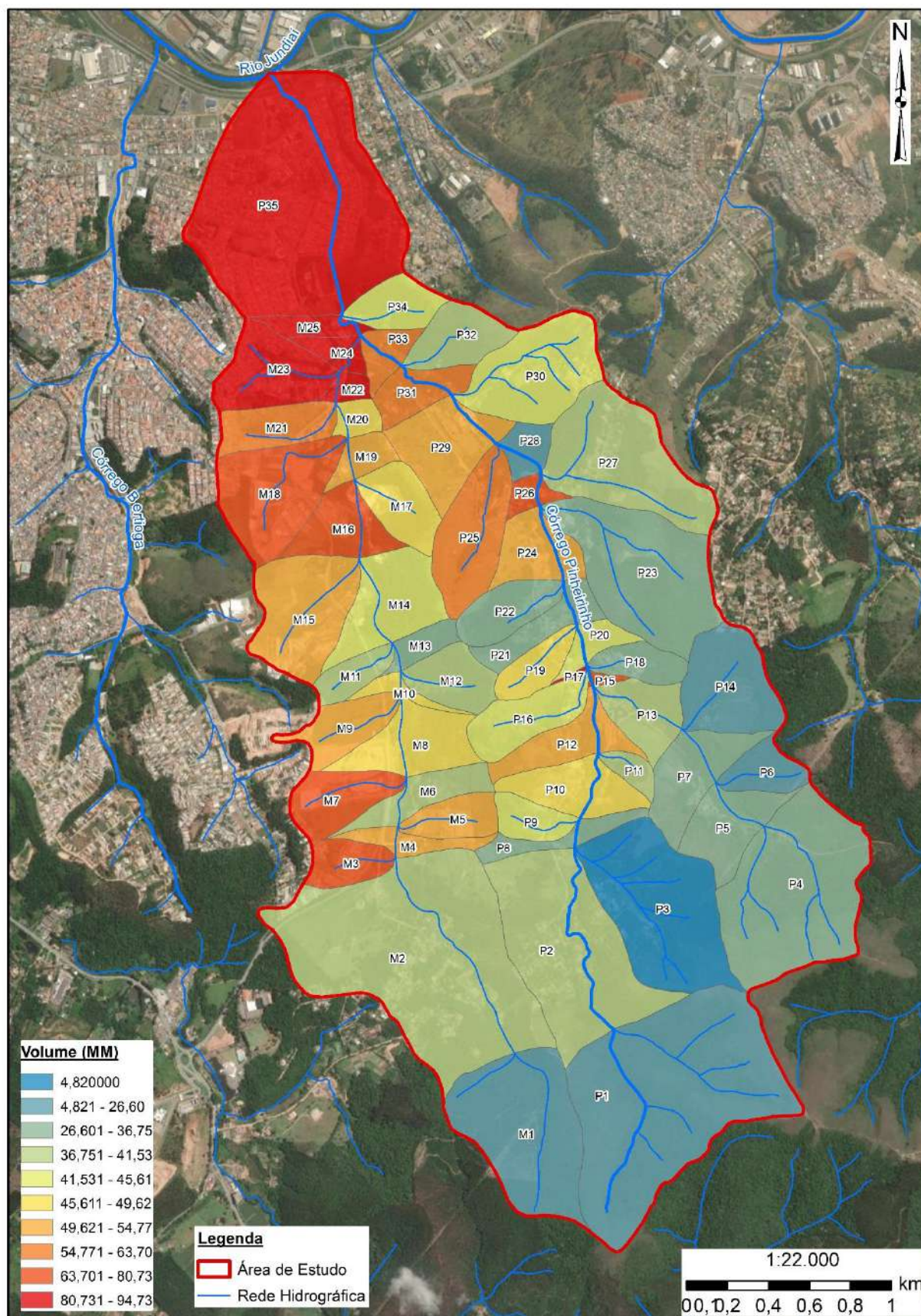
Apesar de semelhanças entre este projeto e o Plano de Macrodrenagem produzido pelo município, como a utilização do Método do Número da Curva, ambos têm diferenças na escala de produção. Enquanto esse trabalho procurou obter as bases mais detalhadas possível, o Plano de Macrodrenagem utilizou-se de bases com pouco detalhe, alterando portanto os resultados. Outro fator de diferença foi a escolha da chuva de projeto: enquanto neste projeto se utilizou os parâmetros de Franco da Rocha, no Plano de Macrodrenagem foi utilizado os parâmetros da cidade de São Paulo, causando por tanto em outra diferenciação.

Apesar das diferenças, os resultados podem ser considerados próximos: O Plano de Macrodrenagem encontrou um pico de 47,9 m³/s para o Córrego do Pinheirinho, enquanto que neste trabalho o valor encontrado foi de 41,5 m³/s. Apesar desta pequena diferença, o número encontrado deu segurança para

avançar aos outros dois cenários, já que havia a confirmação que os valores adotados refletiam a realidade de maneira fidedigna.

Também foi buscado entender quais sub bacias produziam mais escoamento superficial e contribuindo em maior parcela com as *situações de desastre*. Para isso foram utilizados os resultados produzidos pelo Software *Hec-Hms.*, que apresenta o volume total (MM) escoado por cada sub bacia. Os resultados foram espacializados via software *ArcGis* e se encontram na **Figura 31**:

Figura 31: Volume escoado - Cenário Atual



8.2- Cenário com Urbanização Intensificada

Para o cenário com Urbanização Intensa, este trabalho visou estimar em quais moldes se dariam um possível avanço e em quais direção. Na Bacia há indícios que os Córregos do Mursa e do Pinheirinho são possíveis vetores, com a ocupação ao redor dos córregos. Neste cenário, portanto, ocorre uma ocupação intensa em diversas partes da bacia, como é possível ver na **Figura 32**. A **Tabela 7** apresenta os valores de CN para cada tipo de uso do solo, seguida pela **Figura 33** que apresenta o *raster* de CN para toda a bacia. O **Gráfico 3** apresenta o Hidrograma de pico de Vazão neste possível cenário, e por fim, a **Figura 34** apresenta o os índices de Volume Escoado (MM):

Figura 32: Mapa do Uso e Ocupação do Solo - Cenário com Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.

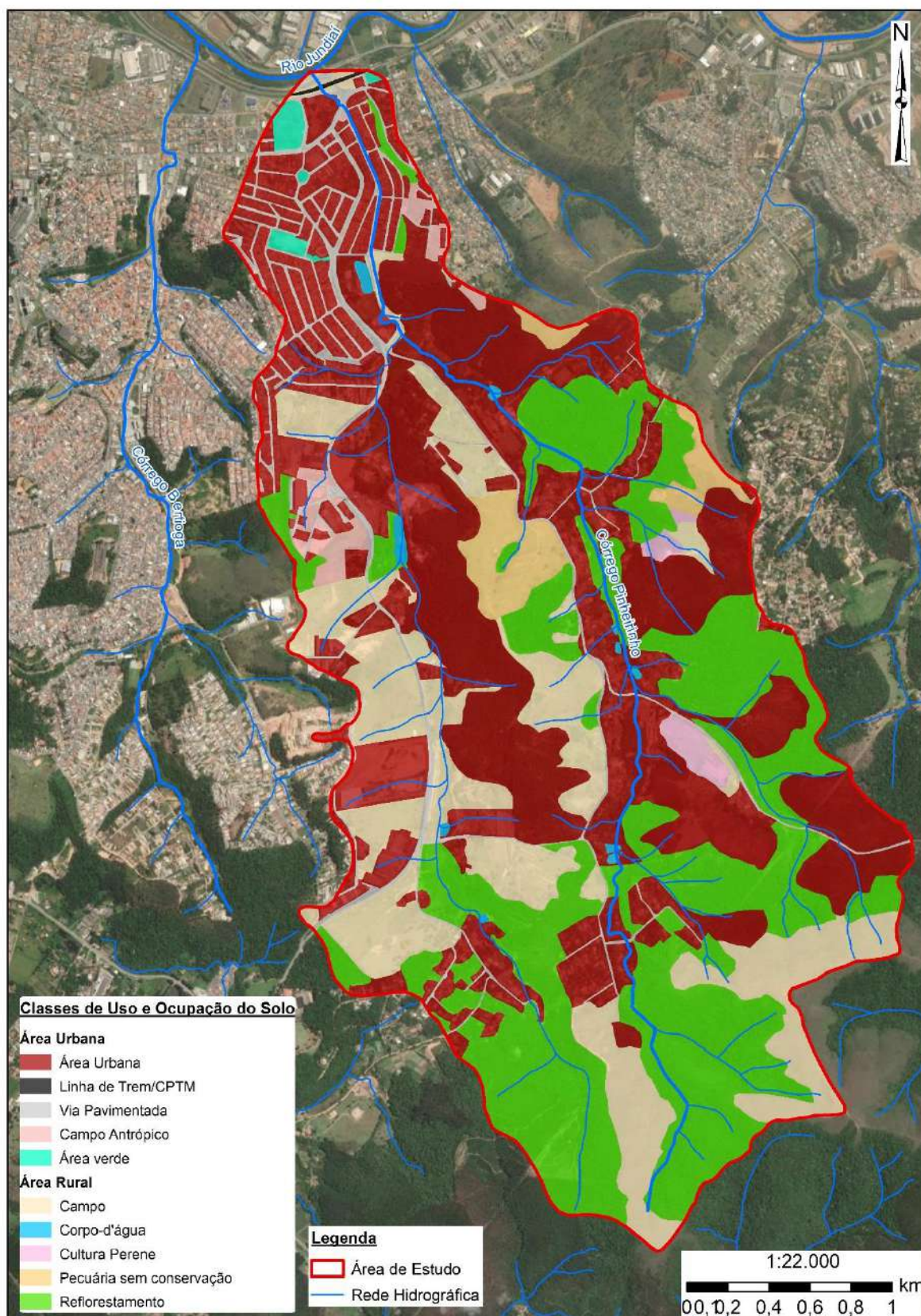
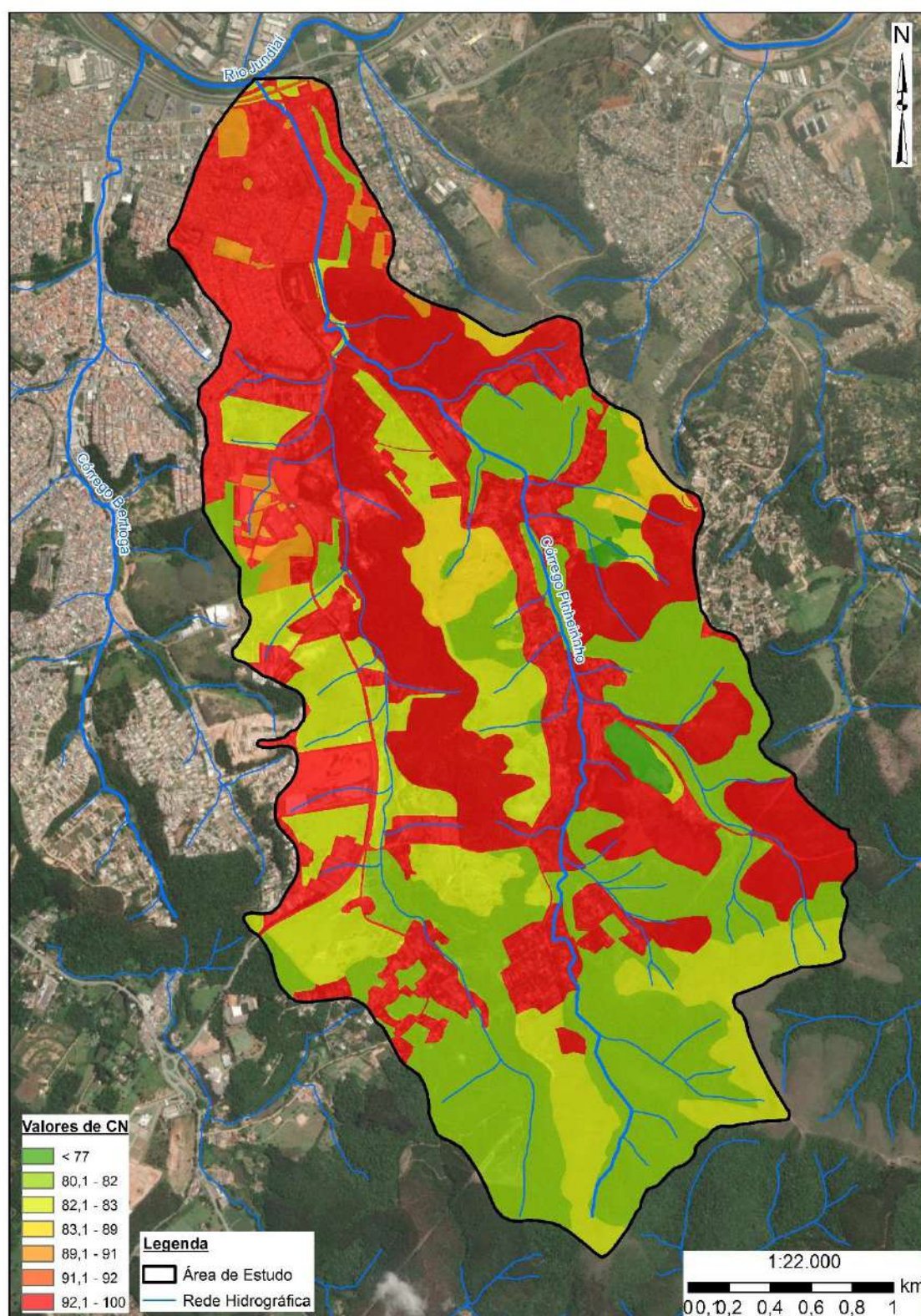


Tabela 7: Valores de CN – Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.

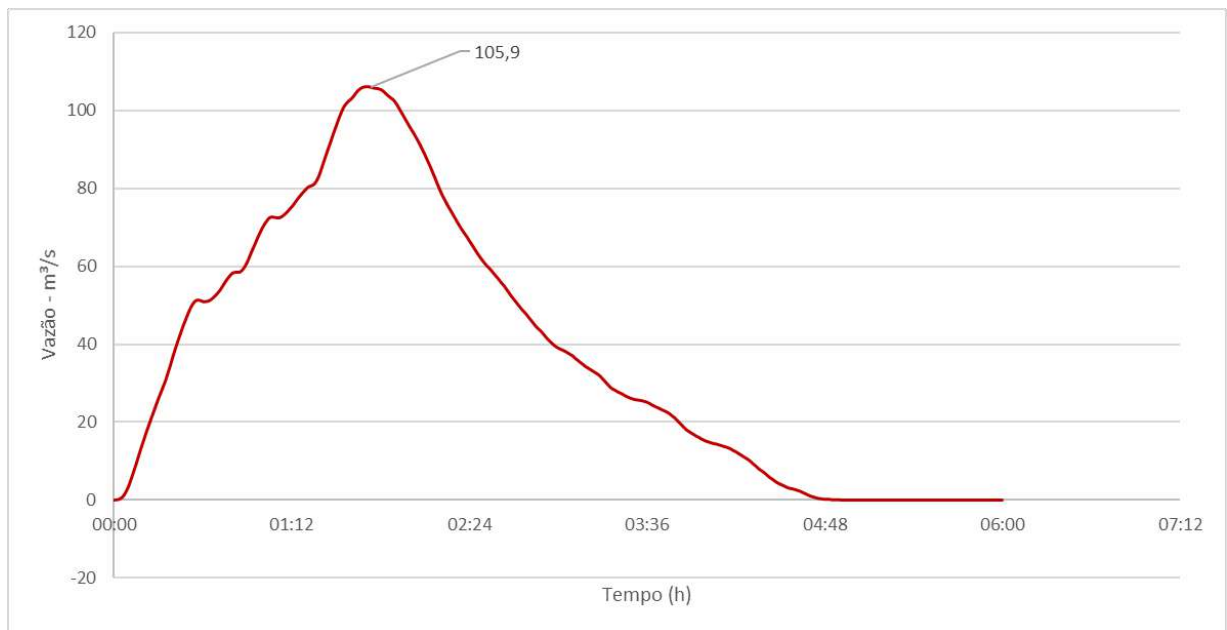
Classe	CN
Área verde	85,2
Área Urbana	92,5
Chácaras/Sítios	85,9
Corpo-d'água	100
Área Urbana em Consolidação	87,9
Solo Exposto	90,5
Mata	58,2
Reflorestamento (Pinus)	65,9
Cultura Perene	73
Campo	66,8
Campo Antrópico	85,2
Linha de Trem/CPTM	91,9
Pecuária sem conservação	79,8
Via sem pavimentação	91,9
Via Pavimentada	98

Figura 33: Valores de CN - Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.



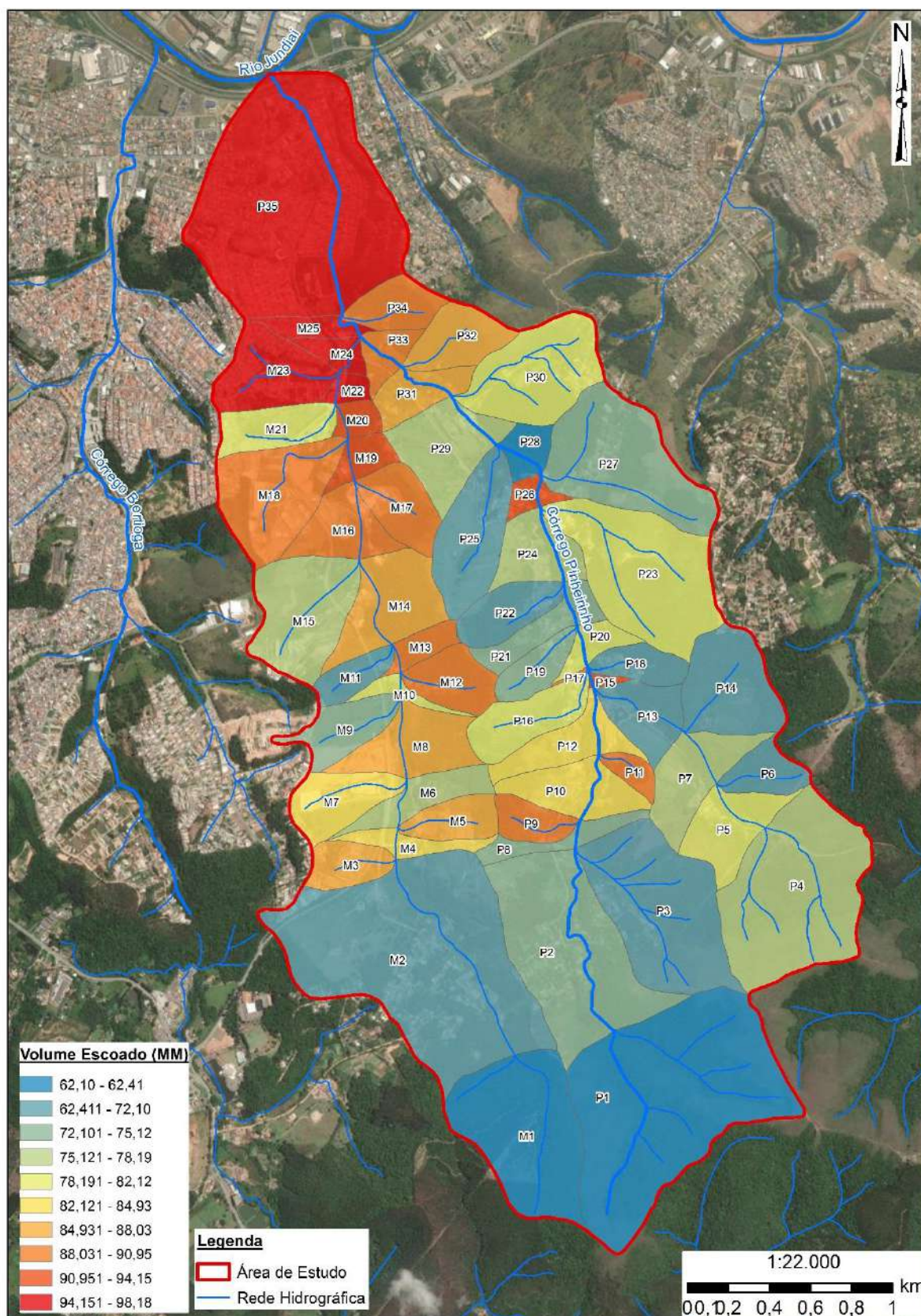
Após a inserção dos dados no Software *Hec-Hms*, foi obtido o Hidrograma Unitário representando o pico de Vazão na bacia com um cenário de urbanização como o representado. O Hidrograma está apresentado no **Gráfico 3**:

Gráfico 3: Hidrograma - Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.



Neste cenário, o pico de vazão é mais do que 2 vezes maior do que o apresentado no cenário atual (41,9 m³/s) e o pico acontece em um período menor de tempo, comprovando que uma maior impermeabilização do solo resulta em tempo de contrações menor. Ainda vale ressaltar que, em caso de urbanização consolidada, tende-se a canalizar os trechos fluviais e aumentar ainda mais o pico de vazão.

Figura 34: Volume Escoado - Cenário com Urbanização Intensificada.



No cenário de maior urbanização, o volume escoado de todas as sub bacias aumentou, evidenciando que mesmo em sub bacias não urbanizadas, os parâmetros utilizados alteram o escoamento final. Apesar do aumento no volume escoado, nota-se que a maior mudança é no pico de vazão e não necessariamente no valor escoado, evidenciando o maior problema da impermeabilização do solo em bacias hidrográficas: o aumento da velocidade do escoamento superficial. Tal resultado aponta para a necessidade de manutenção das boas condições das áreas de mata, reflorestamento, pastagem e cultura, afim de garantir a circulação hídrica, proporcionando à água da chuva o escoamento, infiltração e evaporação à atmosfera de modo a manter o ciclo hidrológico e evitar desigualdades no escoamento e concentração nos setores das sub-bacias.

8.3- Cenário com Práticas de Conservação

Neste cenário, foi buscado atribuir os melhores parâmetros possíveis de conservação, tanto em Setzer e Porto (1979) quanto em Canholi (2014). Neste cenário, portanto, ocorre uma grande preservação em diversas partes da bacia, como é possível ver na **Figura 35** . A **Tabela 8** apresenta os valores de CN para cada tipo de uso do solo, seguida pela **Figura 36** que apresenta o raster de CN para toda a bacia. O **Gráfico 4** apresenta o Hidrograma de pico de Vazão neste possível cenário.

Figura 35: Uso e Ocupação do Solo - Cenário com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.

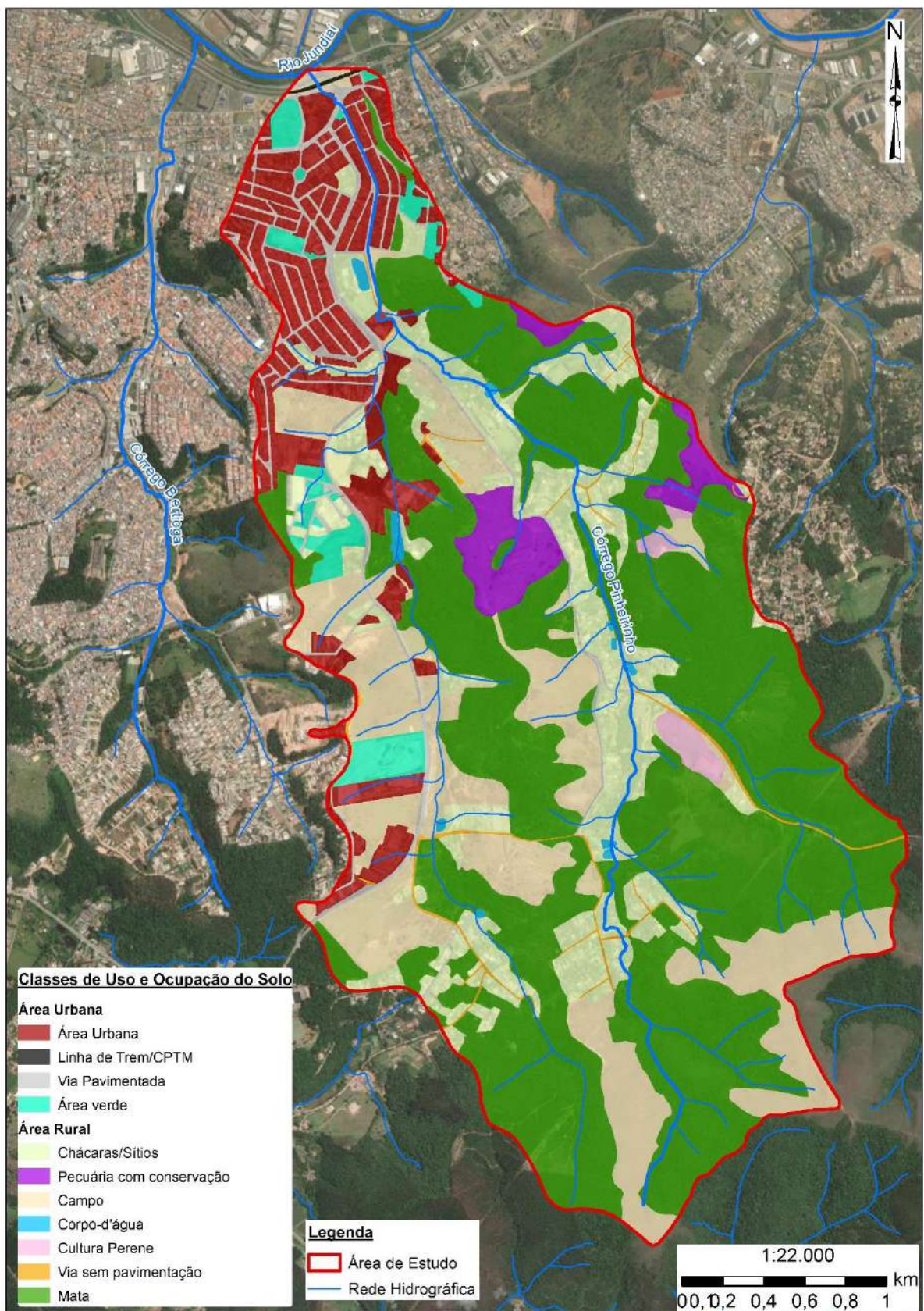


Tabela 8: Valores de CN - Cenário Com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.

Classe	CN
Área Urbana	92,5
Corpo-d'água	100
Chácaras/Sítios	83,6
Área verde	81,7
Mata	50,2
Cultura Perene	67
Campo	79
Linha de Trem/CPTM	91,9
Pecuária com conservação	70,1
Via sem pavimentação	88,4
Via Pavimentada	60

Figura 36: Valores de CN - Cenário com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.

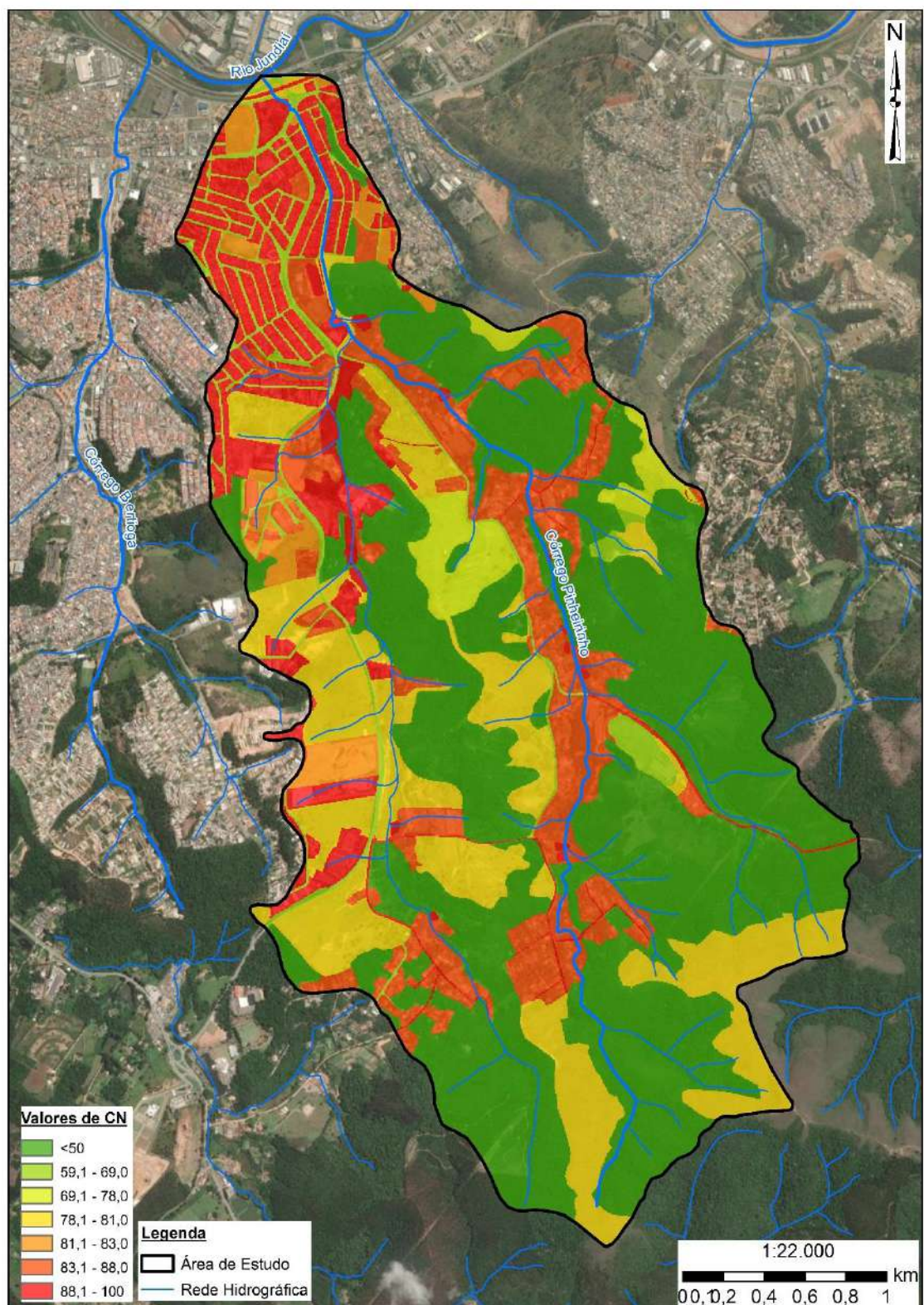
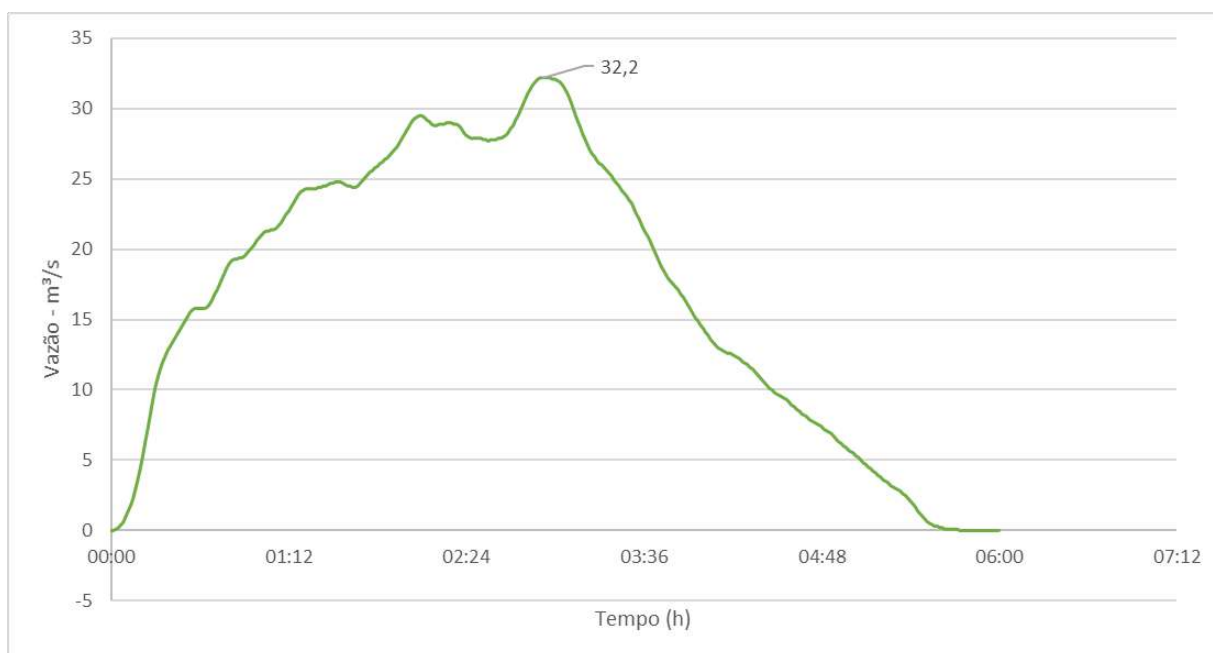
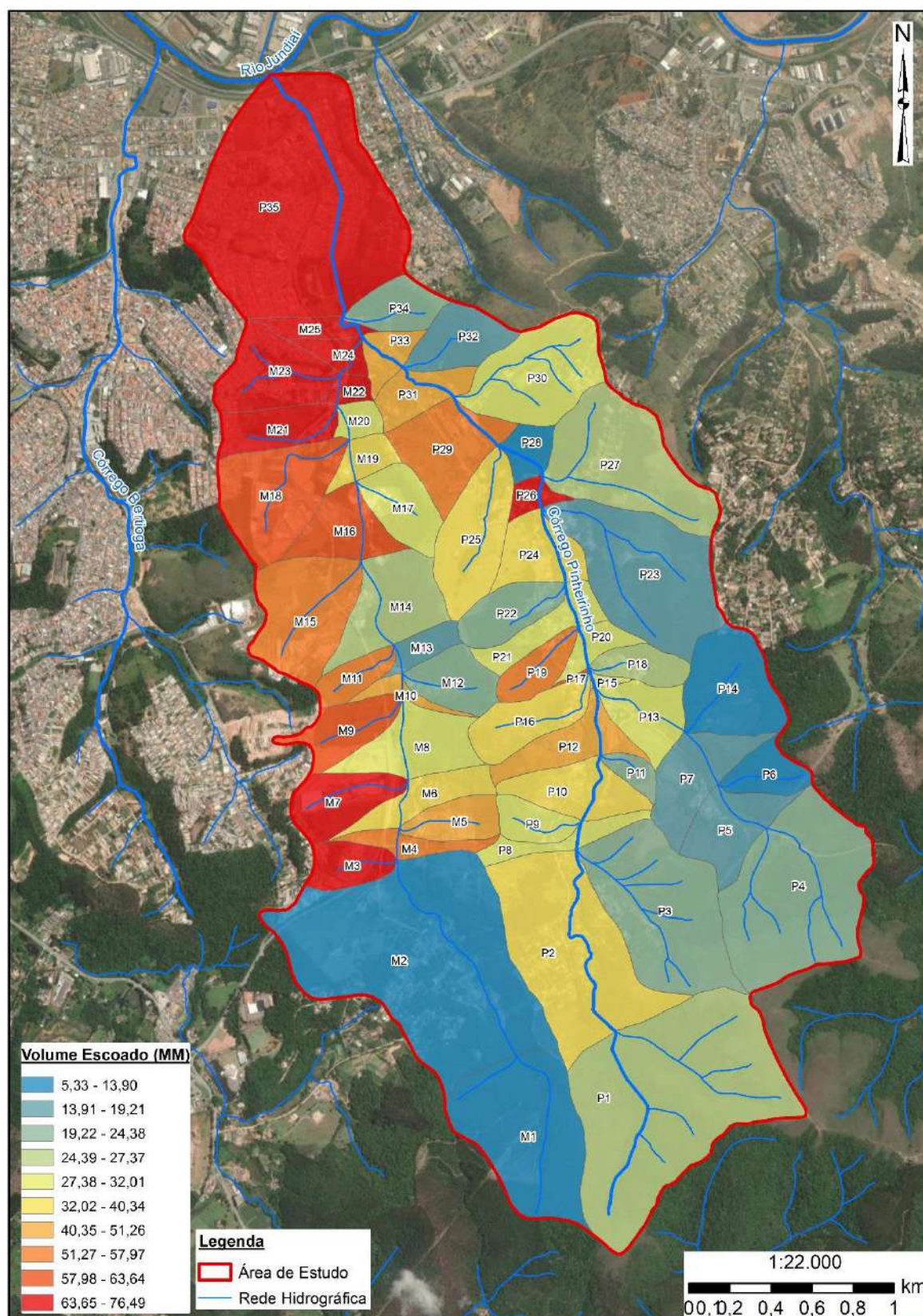


Gráfico 4: Hidrograma - Cenário com Práticas de Conservação. Fonte: Autor.



Neste cenário, o evento de vazão ocorre em um espaço maior no tempo e com um pico de vazão menor em relação aos demais, elucidando que um maior tempo de concentração resulta em vazões menores. O volume escoado também seguiu o padrão encontrado nos outros cenários, que apontam para um volume maior nas bacias com maior urbanização, como é possível ver na **Figura 37**.

Figura 37: Volume Escoado - Cenário com Técnicas de Conservação. Fonte: Autor.



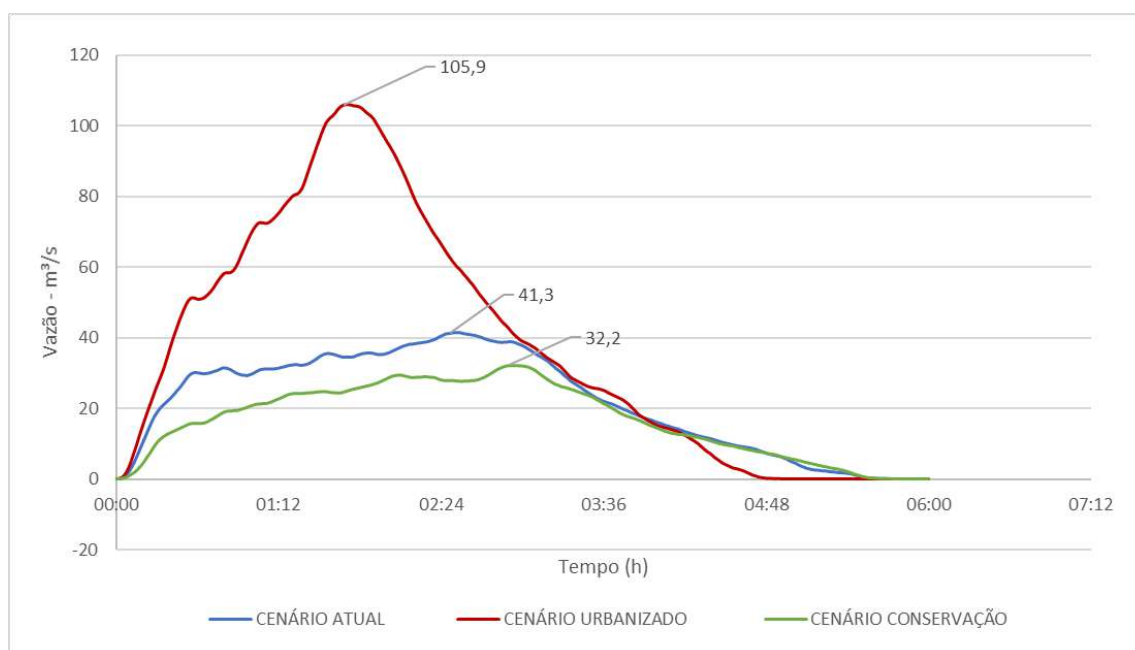
9- Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos nos três cenários modelados apontam para um grande incremento do escoamento superficial pós perturbação, corroborando com Tucci (1997) e Leopold (*apud* Tucci 1997), que apontam para um incremento de até 7x o valor da vazão caso uma bacia seja totalmente urbanizada. Na **Tabela 9**, é possível ver a diferença entre os CN utilizados em cada um dos cenários, já no **Gráfico 5** é possível ver os hidrogramas dos três cenários, sendo possível ver a discrepância entre os resultados:

Tabela 9: Valores de CN - Todos os Cenários. Fonte: Autor.

Cenário Atual		Urbanização Intensificada		Cenário com téc. Conservação	
Classe	CN	Classe	CN	Classe	CN
Área Urbana	92,5	Área Urbana	92,5	Área Urbana	92,5
Área Urbana em Consolidação	87,9	Área verde	89,8	Área verde	81,7
Área verde	85,2	Campo	82,2	Campo	79
Campo	66,8	Campo Antrópico	89,8	Chácaras/Sítios	83,6
Campo Antrópico	85,2	Corpo-d'água	100	Corpo-d'água	100
Chácaras/Sítios	85,9	Cultura Perene	77,8	Cultura Perene	67
Corpo-d'água	100	Linha de Trem/CPTM	91,9	Linha de Trem/CPTM	91,9
Cultura Perene	73	Pecuária sem conservação	82,9	Mata	50,2
Linha de Trem/CPTM	91,9	Reflorestamento	80,4	Pecuária com conservação	70,1
Mata	58,2	Via Pavimentada	98	Via Pavimentada	60
Pecuária sem conservação	79,8			Via sem pavimentação	88,4
Reflorestamento	65,9				
Solo Exposto	90,5				
Via Pavimentada	98				
Via sem pavimentação	91,9				

Gráfico 5: Hidrograma dos 3 cenários. Fonte: Autor.



Assim como visto em Tucci (1997), o tempo de escoamento total é menor em bacias urbanizadas do que em bacias com boas práticas de conservação. Isso ocorre devido ao menor tempo de concentração encontrado em parcelas do solo que estão impermeabilizadas.

O pico de vazão em menor tempo se comparado aos outros cenários também evidencia um problema encontrados nas *situações de desastre*, pois a chuva escoar muito rapidamente, não dando tempo para a bacia escoar toda a parcela de água e então ocorre o extravasamento, que pode resultar em situações de inundação e/ou alagamento no seu leito maior.

Do outro lado, o hidrograma em questão aponta para a importância da conservação da vegetação e de boas práticas de conservação na bacia hidrográfica, uma vez que aumentando a capacidade de infiltração, haverá menos água no leito do talvegue e o cenário de inundação será menor, ou não existirá.

A partir dos resultados que apontam para um pico de vazão maior no cenário urbanizado, foi buscado então validar esta correlação entre urbanização e escoamento superficial. Os dados utilizados foram os milímetros escoados (MM) e a taxa de urbanização da bacia (%). O **Gráfico 6** apresenta esse dado para o cenário atual; o **Gráfico 7** apresenta os dados para o cenário de Urbanização Intensificada; o **Gráfico 8** apresenta os dados com o cenário com técnicas de conservação.

Gráfico 6: Correlação entre o Volume escoado e a porcentagem de urbanização - Cenário Atual.

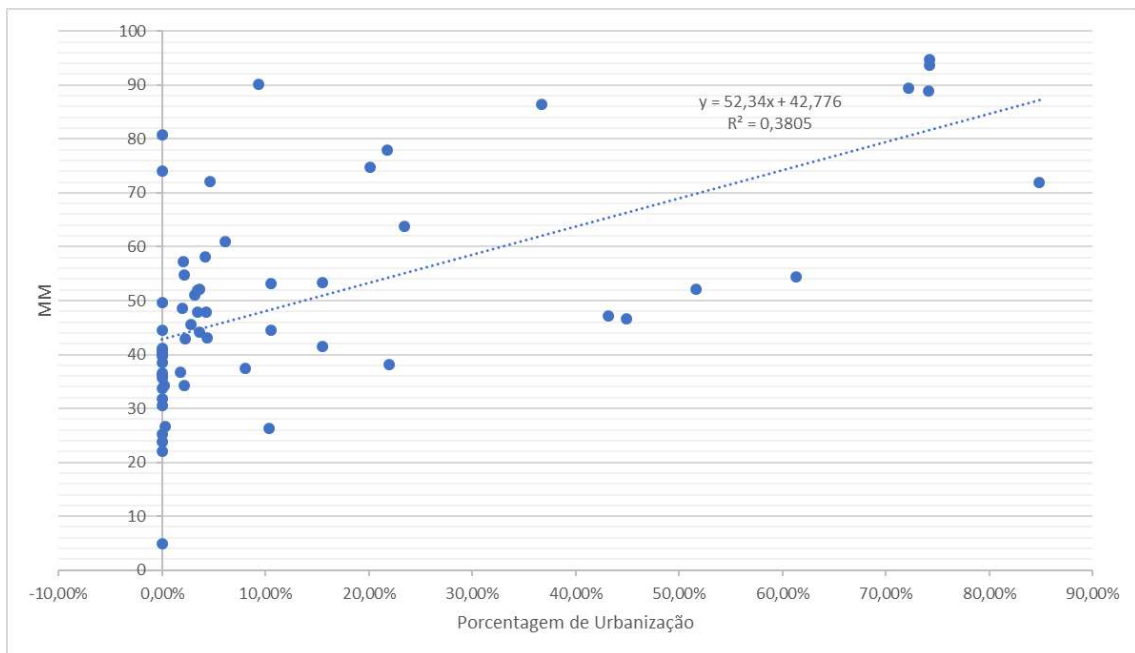


Gráfico 7: Correlação entre Volume escoado e porcentagem de urbanização – Cenário de Urbanização Intensificada.

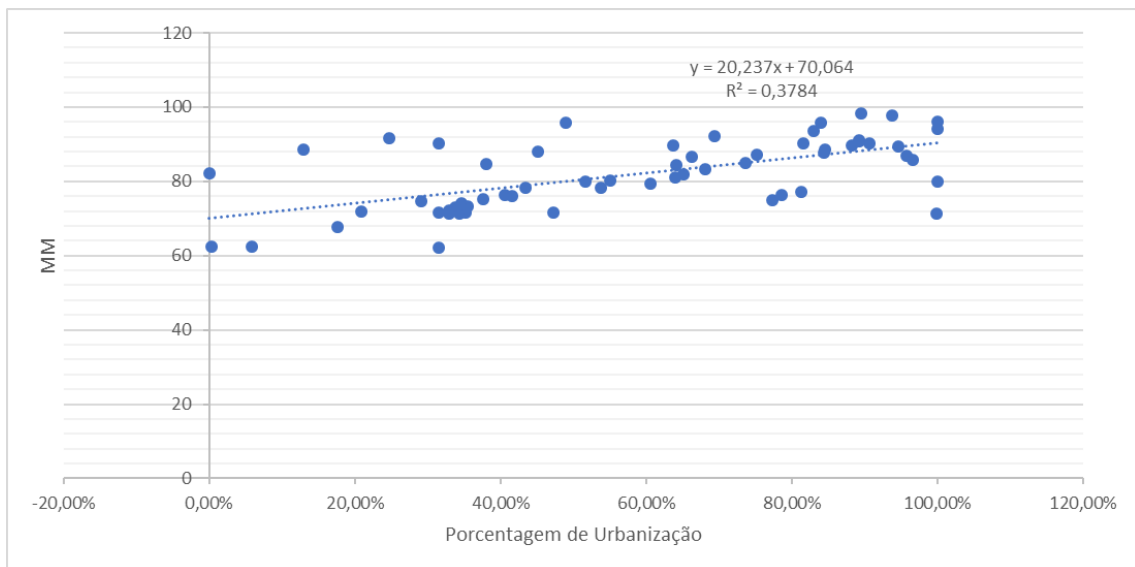
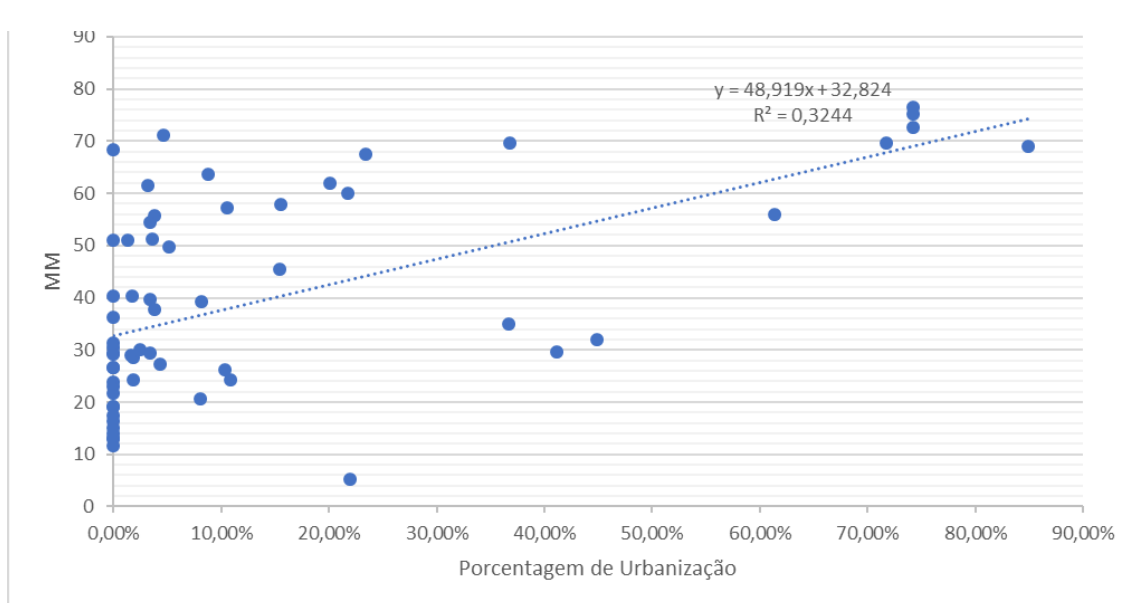


Gráfico 8: Correlação entre Volume escoado e porcentagem de urbanização - Cenário com Técnicas de Conservação,



Os resultados obtidos em todos os três cenários podem apontar para um maior volume escoado de acordo com a porcentagem de urbanização, contudo a correlação é pequena, sendo então importante considerar outros aspectos além da urbanização para a compreensão deste aumento, como más condições de cobertura vegetal e retirada de mata nativa. De qualquer forma, os achados corroboram mais uma vez com Tucci (1997) e Leopold (*apud* Tucci 1997) e exemplificando a relevância da infiltração de água no solo no processo de escoamento e consequentes inundações.

Diante deste cenário obtido na pesquisa, onde uma possível urbanização de áreas rurais da bacia pode ocasionar em maiores problemas, há a necessidade de um planejamento do Poder Público para a contenção das inundações, como já ocorre historicamente no município e na bacia, onde já há uma retificação no trecho final do canal principal. Em relação às soluções quem possam vir a ser feitas, Custódio (2012) critica o amplo uso de soluções estruturais adotadas por municípios, pois “a dinâmica social é condição e condicionadora das transformações significativas no processo social, e não a forma”. Além de mais custosas, as soluções estruturais se concentram em uma resolução a curto prazo, não atingindo realmente na origem do problema. Em contra partida, Custódio (op. cit.) aponta para a importância de soluções não estruturais na

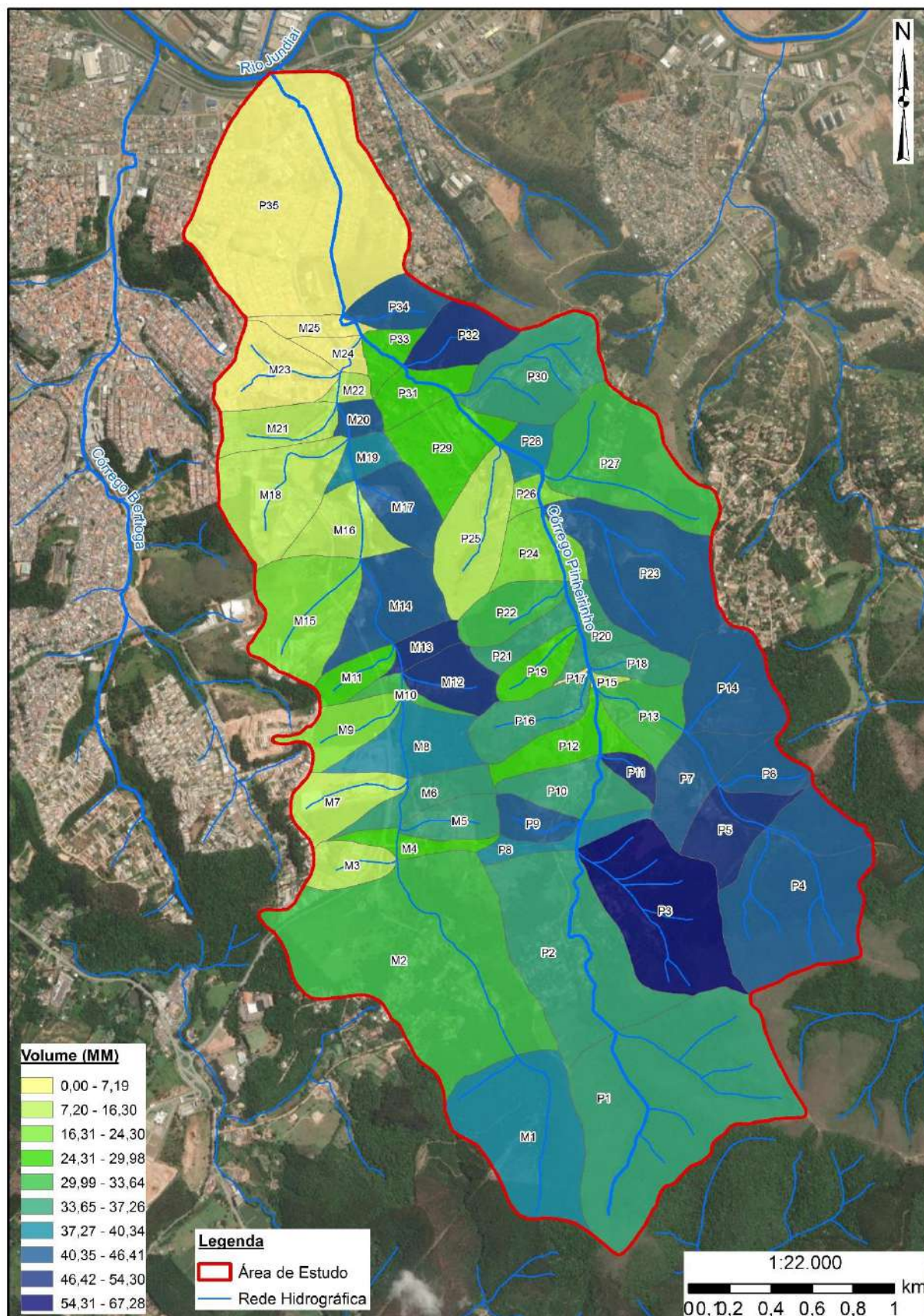
busca de soluções para os problemas de inundação no meio urbano, ressaltando inclusive que:

“a principal solução não estrutural é o disciplinamento do uso e ocupação do solo urbano, implicando em disciplinar não apenas formas de uso do meio físico-natural e do meio ambiente urbano, mas fundamentalmente, em intervir no processo social urbano”

Além do disciplinamento do Uso e Ocupação do Solo, é de grande importância outras medidas não estruturais, como programas, campanhas educativas e leis, que junto do direcionamento do uso e ocupação do solo, são menos custosas e mais eficientes a médio e longo prazo para a redução dos problemas de inundações, além de oferecer a oportunidade de uma melhor convivência com os impactos causados pelas inundações, já que é um problema que deve ser enfrentado pela sociedade e pelo Poder Público em conjunto.

A fim de oferecer insumos para a gestão de situações de desastre, este trabalho também procurou quais sub bacias sofreram um maior incremento ou decréscimo de milímetros escoados nos dois cenários supostos. A **Figura 38** apresenta o acréscimo de milímetros por sub bacia em escoamento superficial ao comparar o Cenário de Urbanização Intensificada com o cenário atual.

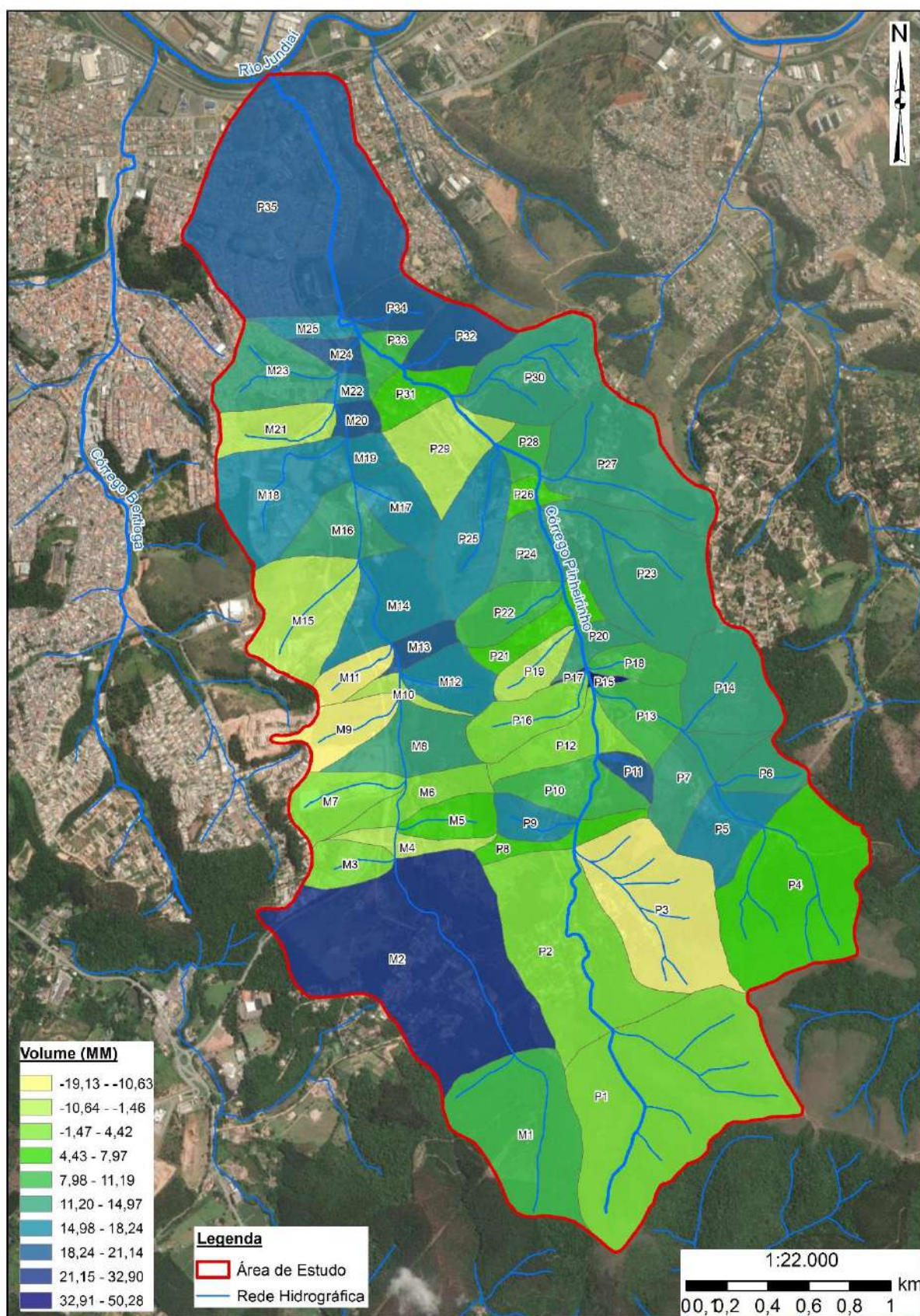
Figura 38: Acréscimo de milímetros por sub bacia - Cenário de Urbanização Intensificada X Cenário Atual. Fonte: Autor.



As sub bacias que mais apresentaram um acréscimo de escoamento superficial são as que hoje se encontram em situação de conservação moderada, onde ainda há presença de terrenos com medidas maiores e uma porcentagem de cobertura vegetal. Esse incremento também tem relação com a declividade em algumas regiões na cabeceira de drenagem, pois ali o tempo de concentração é menor naturalmente, e caso seja impermeabilizado, este cenário se torna pior. Nota-se que quase não houve alteração na área urbana do município, pois no cenário simulado neste trabalho a área urbana se manteria igual.

Nesta mesma linha de raciocínio, a **Figura 39** apresenta o decréscimo de milímetros por sub bacia ao comparar a bacia atual com o estado da bacia no cenário em que se usa Técnicas de Conservação.

Figura 39: Decréscimo de milímetros - Cenário Atual x Cenário com Técnicas de Conservação. Fonte: Autor.



Apesar de algumas sub bacias terem apresentado um acréscimo no seu volume de escoamento superficial, a ampla maioria apresentou um decréscimo no total escoado. Até mesmo as áreas onde há a presença de vegetação (mata e/ou reflorestamento), este modelo mostra que melhores condições resultam diretamente em maiores taxas de infiltração e consequentemente menor escoamento superficial. Diferentemente do cenário oposto, neste cenário há uma grande mudança de volume escoado na área urbana do município devido ao Pavimento Drenante utilizado neste cenário.

Destaca-se também que nos resultados obtidos, tanto nos milímetros escoados superficialmente quanto nos Hidrogramas de vazão máxima, o cenário atual encontra-se em um bom estado de conservação em relação a outras bacias hidrográficas do município. Há pouco espaço para melhora em relação as inundações da bacia, sendo o principal deles a adoção de Pavimento Drenante e melhores condições de preservação na bacia.

O processo de urbanização da cidade de Várzea Paulista é semelhante a outras do estado de São Paulo: intenso e não planejado. Esses dois fatores levam a maior parte dos problemas ambientais enfrentados na cidade atualmente. As inundações, ou *situações de desastre*, apesar de serem vistas como algo relacionado apenas à área urbana, na verdade representam um processo natural dos leitos em seus períodos de cheia. Ao se instalar no leito maior dos rios, a sociedade se coloca então em risco físico e econômico pois as cheias dos rios, na maioria das vezes, saem do controle da sociedade. Diante do cenário de aumento da população que a cidade se encontra, soluções terão que ser procuradas já num curto espaço de tempo, e este trabalho teve também por objetivo apresentar insumos para as eventuais tomadas de decisão.

As soluções estruturais apontam para um caminho mais custoso e menos efetivo, mesmo sendo adotadas na maioria das situações. As soluções não estruturais se apresentam, a princípio, como menos efetivas. Contudo, a médio e longo prazo, são as únicas com capacidade de frear o aumento da vazão, diminuir e até mesmo terminar com problemas de inundação frequente.

O principal caminho para as soluções não estruturais é através do disciplinamento do uso e ocupação do solo, através de mecanismos que

controlem a impermeabilização do solo, aumentando a infiltração da água da chuva e diminuindo o escoamento. Este trabalho buscou a estimativa do escoamento superficial em três situações, todas distintas, e obteve resultados distintos entre si, mas que apontam para um caminho semelhante.

No Cenário Atual, é necessário ampliar a preservação de matas e campos, aumentando as suas capacidades de infiltração e atentando-se para as sub-bacias que mais produzem vazão. Já o Cenário de Urbanização Intensificada se mostrou incompatível com as atuais condições de vazão do córrego em seu trecho final, sua implementação, portanto, ocasionaria em eventos de inundação frequente e cada vez de maior porte, atingindo mais edificações na avenida Pinheirinho e outras regiões da bacia hidrográfica. É necessário portanto um ordenamento do uso e ocupação do solo na região, seguindo as diretrizes apresentadas no Cenário com Práticas de Conservação, capazes de reduzir o escoamento superficial mesmo com um incremento da população do município.

10- Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho apontam para um caminho cada vez mais comum no meio acadêmico: interdisciplinaridade. Não é possível encontrar soluções socioespaciais sem ter a relação com outras disciplinas ou sem procurar ter a visão inteira sobre um assunto específico.

As inundações, problema enfrentado na maioria das vezes por técnicos voltados a soluções estruturais, são acima de tudo, um processo natural, originado inicialmente no meio físico. A dinâmica social condicionada pela concentração urbana, faz com que as inundações passem a ser um processo natural deflagrado ou intensificado devido a ação antrópica, sendo suas soluções portanto tema de estudo de várias áreas do meio acadêmico.

A construção de um modelo hidrológico, apesar do maior detalhamento possível que se procurou dar, ainda apresenta lacunas que podem ser preenchidas no futuro, como melhores índices CN adaptados à realidade tanto do meio rural quanto do meio urbano Brasileiro, ou até mesmo um termo de referência dos órgãos oficiais (Estaduais ou Federais), que resultariam em modelagens mais parecidas entre si e com melhores resultados. A geomorfologia da área também pode ser melhor trabalhada em modelagens hidrológicas, apesar da fidelidade representada pela declividade equivalente, elementos próprios do relevo com uma grande importância, como áreas de depressões e knick-points em leitos fluviais, são condensados ao invés de serem levadas em consideração.

Os valores pluviométricos também carecem de maior qualidade, sendo necessário recorrer à valores de outras cidades pela falta de informação no município. Para se entender o comportamento de inundações, é fundamental saber qual é o *input* (chuva), e esse valor poderia ser mais fiel caso houvessem números com grande variabilidade temporal no município.

Apesar das críticas metodológicas ao modelo hidrológico e também aos dados pluviométricos encontrados, o trabalho conseguiu apresentar dados robustos em relação a estimativa de vazão numa bacia hidrográfica, sendo capaz de apontar inclusive qual a situação em que possa ocorrer um aumento expressivo das *situações de desastre*. Tal aumento, de acordo com o modelo, poderá ocorrer caso algumas sub-bacias tenham seu nível de infiltração diminuído, seja pela

urbanização ou devido à más condições de cobertura vegetal. A ampla maioria destas sub-bacias se encontram na região da Serra do Mursa, sendo então importantes para a manutenção dos níveis de vazão encontrados na bacia hoje. Devido à alta declividade equivalente encontrada nestas bacias, um aumento no escoamento superficial traria grandes consequências para a gestão e prevenção das eventuais *situações de desastre*, que apesar de já ocorrerem no córrego, ainda têm uma recorrência pequena.

Por fim, este trabalho apresenta dados de suma importância para o planejamento urbano do município, com insumos para o parcelamento do uso e ocupação do solo na bacia com objetivo de conservação dos atuais números de escoamento superficial e também dados iniciais para um possível modelo hidráulico caso seja do interesse do poder público a adoção técnicas construtivas para a solução do excesso de vazão no Córrego do Pinheirinho. Além disso, o trabalho serve como um desafio ao próprio autor em tentar preencher as lacunas citadas acima e também prover dados mais fidedignos à realidade.

Após a apresentação e aprovação deste trabalho, o mesmo foi utilizado para uma apresentação aos gestores municipais a fim de evidenciar o problema e para fornecer os insumos para as futuras discussões sobre a área de estudo. Também foi alvo de interesse para o curso Técnico em Meio Ambiente da ETEC Vasco Antônio Venchiarutti, sendo feita uma apresentação e uma discussão com os alunos e corpo dos professores. Tais apresentações e divulgação do trabalho mostram a importância do estudo para a resolução dos problemas socio espaciais.

Referências

- AB'SABER, Aziz Nacib. **A terra paulista. Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5-38, 1956.
- AB'SABER, Aziz Nacib; BERNARDES, Nilo. **Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo**. [S.l: s.n.], 1958
- Almeida F.F.M. de. 1964. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Bol. Inst. de Geol. e Geogr., 41:167-263
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1994.
- Canholi, Aluísio Pado. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de Textos, São Paulo, 2014.
- Carneiro, C. D. R. e Souza, J. J. **Mapeamento geomorfológico em escala de semidetalhe da região de Jundiaí-Atibaia**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 4, Nº 2, 17-30, 2003.
- Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Acesso em Dezembro de 2020. <http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>.
- CHRISTOFOLETTI. A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Notícias Geomorfológicas, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.
- CUSTÓDIO, Vandeli. **Escassez de água e inundações na Região Metropolitana de São Paulo**. Humanitas / FAPESP, 2012.
- DA LUZ, Luciano Ferreira. **Os trilhos nas áreas urbanas: conflitos, desafios e oportunidades em dez cidades paulista**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia - FFLCH/USP, 2006.

DA LUZ, Rodolfo Alves. **Mudanças geomorfológicas na planície fluvial do Rio Pinheiros, São Paulo (SP) ao longo do processo de urbanização.** Dissertação de Doutorado. Departamento de Geografia - FFLCH/USP, 2015.

DEFFONTAINES, P. - 1935 - **Regiões e Paisagens do Estado de São Paulo; primeiro esboço de divisão regional.** Geografia. São Paulo 1 (2):117-169.

DEMATTE, J.A.M.; DEMÉTRIO, V.A. **Caracterização de solos por padrões de drenagem e sua relação com índices de intemperismo.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.33, p.87-95, 1998

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Precipitações Intensas do Estado de São Paulo.** São Paulo: DAEE, 2016.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology.** Geological Society of America Bulletin, 1948.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades, Acesso em Agosto de 2020. <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/varzea-paulista.html>>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Modelagem de inundações usando o software Hec-Ras acoplado aos dados de cartas topográficas e modelo digital de elevação: procedimentos tecnológicos.**, 2017.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo:** Escala: 1: 500.000. São Paulo, 1981.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração de mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação para a quadrícula de Campinas (SP),** 1995.

McCuen, R.H. **A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993.

MORAES REGO, L.F. de - 1932 - **Notas sobre a geomorfologia de São Paulo e sua gênese.** São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico. 43p

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. **Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicação da abordagem da Geomorfologia Antropogênica na Bacia Hidrográfica do Rio Tamanduateí, na região Metropolitana de São Paulo.** Tese de Doutorado. Departamento de Geografia - FFLCH/USP, 2010.

NEVES, M.A. **Evolução Cenozóica da Região de Jundiaí (SP).** Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

NEVES, M.A.; MORALES, N; BORGES, M.S.; EBERT, H.D. **Compartimentação morfotectônica da região de Jundiaí (SP).** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo. Legenda Expandida.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas; Rio de Janeiro: EMBRAPA – Solos, 1999.

PERROTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINHO, L. Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L. L. B.; GARCIA, M. G. M.; LACERDA FILHO, J.V. **Mapa geológico do estado de São Paulo**, escala 1:750.000. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil, CPRM, São Paulo, 2005.

Prefeitura de Várzea Paulista. **Plano Diretor de Macrodrenagem**, 2006.

PRESTES, Lucinda Ferreira. **Sorocaba, o tempo e o espaço: séculos XVIII-XX.** 2001. Tese de Doutorado - FAU-USP, São Paulo, 2001.

PREZOTO, Andréa. **Percepção Ambiental: a serra do Japi no município de Jundiaí - SP, 1998. Trabalho de Graduação Individual - FFLCH-USP, São Paulo, 1998.**

ROSS, J. L. S. - **O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo.** Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP, n.º 6, 17-29, 1992.

ROSS, J. L. S. ; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Laboratório de Geomorfologia. São Paulo, 1997.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: Recisado e Ampliado. São Paulo: Instituto Florestal 2017.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. São Paulo: HUCITEC, 1993a.

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy**, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 1956.

SETZER, J.; PORTO, R. L. L. **Tentativa de avaliação de escoamento superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo**. In: Boletim Técnico DAEE v.2 n.2. São Paulo: DAEE, 1979.

SILVEIRA, A.L.L., 2000, **Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre**, In: Tucci, C.E.M.; Marques, D.M., 2000, Avaliação e Controle da Drenagem Urbana, Editora da Universidade/UFRGS, Porto.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M.; **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos 2017.

STRAHLER, Arthur N. **Equilibrium Theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis**. American Journal of Science, 1950.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais**. 2. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), 1997.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGRAW-Hill do Brasil, 1975.

Apêndice – Insumos para a gestão de *situações de desastre*.

Tabela A-1: Dados de entrada do modelo hidrológico, Córrego Pinheirinho - Cenário Atual. Fonte: Autor.

SUB BACIA	Área	L	Declividade Equivalente	Tc_Corrigido	Tc	V Corrigido	v	CN	α	Imp	% Urb	FCTc	Lag (min)	S (mm)	Abs. Inicial (mm)
P1	0,8074081	1,16	101,93	10,1779	10,18	1,90	1,90	61,50	0,20	0,00%	0,00%	1,00	6,1067	159,01	31,8016
P2	0,4893233	1,08	26,64	16,5900	16,59	1,08	1,08	70,19	0,20	0,00%	0,00%	1,00	9,9540	107,87	21,5750
P3	0,4084622	0,88	25,41	15,6700	15,67	0,94	0,94	65,05	0,20	0,00%	0,00%	1,00	9,4020	136,47	27,2938
P4	0,5004181	0,82	140,70	7,8600	7,86	1,74	1,74	64,25	0,20	0,00%	0,00%	1,00	4,7160	141,33	28,2661
P5	0,1380701	0,34	237,47	4,6000	4,60	1,24	1,24	65,09	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,7600	136,23	27,2458
P6	0,0766661	0,44	356,18	4,3130	4,31	1,69	1,69	60,84	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,5878	163,49	32,6977
P7	0,1539068	0,31	203,38	4,7156	4,72	1,11	1,11	66,30	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,8294	129,11	25,8214
P8	0,0632835	0,15	30,07	7,3264	7,33	0,33	0,33	67,45	0,20	0,00%	0,00%	1,00	4,3958	122,58	24,5150
P9	0,0662285	0,44	79,82	7,5739	7,70	0,97	0,95	71,88	0,20	2,81%	2,83%	0,98	4,5443	99,37	19,5921
P10	0,1364526	0,35	40,79	9,0372	9,15	0,65	0,64	73,88	0,20	1,98%	1,99%	0,99	5,4223	89,81	17,7840
P11	0,0350546	0,33	42,30	8,7934	8,79	0,62	0,62	70,61	0,20	0,00%	0,00%	1,00	5,2760	105,73	21,1464
P12	0,1182141	0,34	26,62	10,4669	10,60	0,54	0,53	77,02	0,20	2,10%	2,10%	0,99	6,2801	75,79	14,9994
P13	0,1127963	0,50	22,79	13,1143	13,12	0,64	0,64	69,89	0,20	0,01%	0,01%	1,00	7,8686	109,42	21,8820
P14	0,2065059	0,57	158,99	6,5030	6,51	1,46	1,45	61,55	0,20	0,26%	0,26%	1,00	3,9018	158,64	31,6874
P15	0,0090314	0,09	87,12	3,9760	3,98	0,36	0,36	87,59	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,3856	36,00	7,2001
P16	0,1307472	0,76	63,05	10,1955	10,42	1,25	1,22	70,65	0,20	3,67%	3,61%	0,98	6,1173	105,52	20,7229
P17	0,0034441	0,02	84,85	1,9990	2,12	0,14	0,13	83,49	0,19	9,15%	9,29%	0,94	1,1994	50,21	9,5764
P18	0,0705862	0,50	142,27	6,4889	6,49	1,29	1,29	67,74	0,20	0,00%	0,00%	1,00	3,8934	120,97	24,1939
P19	0,0735421	0,53	121,27	6,8538	7,03	1,29	1,25	72,61	0,20	4,23%	4,23%	0,97	4,1123	95,81	18,7562
P20	0,0498907	0,20	51,07	6,7147	6,81	0,51	0,50	70,59	0,20	2,25%	2,26%	0,99	4,0288	105,84	20,9282
P21	0,091742	0,22	30,91	8,4591	8,55	0,44	0,44	67,21	0,20	1,73%	1,73%	0,99	5,0755	123,93	24,5726
P22	0,1066092	0,62	47,67	10,5476	10,69	0,97	0,96	65,40	0,20	2,14%	2,16%	0,99	6,3286	134,40	26,5905
P23	0,3908557	1,15	84,62	10,8669	10,88	1,76	1,76	66,45	0,20	0,16%	0,16%	1,00	6,5202	128,23	25,6261
P24	0,116927	0,39	24,52	11,2943	11,54	0,57	0,56	75,14	0,20	3,58%	3,57%	0,98	6,7766	84,05	16,5100
P25	0,2022911	0,82	143,94	7,7102	7,81	1,78	1,76	78,26	0,20	2,07%	2,07%	0,99	4,6261	70,56	13,9663
P26	0,0332757	0,17	34,97	7,3078	7,31	0,38	0,38	86,40	0,20	0,04%	0,02%	1,00	4,3847	39,99	7,9976
P27	0,3444365	0,93	76,33	10,4579	10,46	1,49	1,49	69,79	0,20	0,00%	0,00%	1,00	6,2747	109,97	21,9935
P28	0,052523	0,27	16,49	11,7661	11,77	0,39	0,39	59,82	0,20	0,00%	0,00%	1,00	7,0596	170,61	34,1224
P29	0,179221	0,33	10,76	14,5587	14,86	0,38	0,37	75,30	0,20	2,69%	3,43%	0,98	8,7352	83,34	16,3815
P30	0,2528692	0,82	48,26	11,8925	11,89	1,15	1,15	72,38	0,20	0,00%	0,00%	1,00	7,1355	96,94	19,3887
P31	0,0875436	0,31	21,57	10,9013	11,18	0,48	0,47	78,22	0,20	3,61%	4,16%	0,98	6,5408	70,72	13,8498
P32	0,1149645	0,51	46,69	9,9866	9,99	0,85	0,85	69,09	0,20	0,00%	0,00%	1,00	5,9920	113,61	22,7228
P33	0,0553265	0,25	16,65	10,9008	11,31	0,38	0,37	79,48	0,19	3,90%	6,06%	0,96	6,5405	65,56	12,7154
P34	0,089795	0,48	15,18	14,1173	15,07	0,57	0,53	71,39	0,19	1,70%	10,51%	0,94	8,4704	101,81	19,2924
P35	0,9184038	1,31	21,54	11,0018	19,40	1,99	1,13	89,55	0,13	20,63%	72,17%	0,57	6,6011	29,64	3,7893

Tabela A-2: Dados de entrada do modelo hidrológico, Córrego do Mursa - Cenário Atual. Fonte: Autor

SUB BACIA	L	Área (Km²)	Declividade Equivalente	Tc_Corrigido (min)	Tc	Lag	V Corrigido	v	CN	α	Imp	% Urb	FCTc	S (mm)	Abs. Inicial (mm)
M1	0,89	0,39	85,07	9,8544	9,85	5,91	1,51	1,51	58,57	0,20	0,00%	0,00%	1,000000018	179,64	35,92898895
M2	0,87	0,90	34,24	13,6625	13,95	8,20	1,06	1,06	67,97	0,20	1,84%	3,43%	0,979393694	119,69	23,5270498
M3	0,28	0,08	88,78	4,6690	7,39	2,80	0,99	0,99	82,83	0,14	7,84%	61,37%	0,631800275	52,64	7,297444088
M4	0,14	0,05	18,94	8,1646	9	4,90	0,29	0,29	75,75	0,18	4,38%	15,47%	0,907180887	81,29	15,00076686
M5	0,50	0,08	47,68	9,9000	9,9	5,94	0,85	0,85	76,96	0,20	0,00%	0,00%	1,000000018	76,02	15,20475716
M6	0,24	0,10	19,17	10,4130	10,71	6,25	0,39	0,39	68,25	0,20	4,64%	4,62%	0,972265384	118,19	23,09072738
M7	0,46	0,13	63,31	7,0784	9,69	4,25	1,09	1,09	83,71	0,16	5,44%	44,92%	0,730483854	49,44	7,666418794
M8	0,40	0,16	16,92	13,3107	13,57	7,99	0,50	0,5	72,27	0,20	3,22%	3,18%	0,980893547	97,47	19,18361113
M9	0,38	0,11	93,77	6,5843	7,02	3,95	0,97	0,97	74,66	0,19	2,49%	10,35%	0,937927972	86,19	16,34675886
M10	0,10	0,03	40,43	5,3772	5,93	3,23	0,32	0,32	73,14	0,18	4,16%	15,54%	0,906772925	93,26	17,20328062
M11	0,45	0,06	97,13	6,9842	7,34	4,19	1,08	1,08	69,73	0,19	3,63%	8,08%	0,951527969	110,24	21,1567825
M12	0,50	0,10	61,72	8,9500	8,95	5,37	0,94	0,94	68,49	0,20	0,00%	0,00%	1,000000018	116,85	23,37073599
M13	0,15	0,05	34,20	6,8762	7,06	4,13	0,36	0,36	67,66	0,20	0,08%	4,34%	0,973962673	121,40	23,75334521
M14	0,45	0,19	15,88	13,8242	14,76	8,29	0,54	0,54	70,56	0,19	1,80%	10,57%	0,93659938	105,97	20,07403627
M15	0,62	0,25	3,30	9,7864	11,13	5,87	1,05	1,05	74,86	0,18	4,41%	20,12%	0,879285	85,32	15,34787323
M16	0,29	0,12	3,30	18,5028	24,97	11,10	0,26	0,26	84,96	0,16	5,91%	43,17%	0,741002382	44,95	7,050235732
M17	0,41	0,11	103,14	6,2149	7,15	3,73	1,10	1,1	73,04	0,18	0,00%	21,80%	0,869211865	93,74	16,70386036
M18	0,63	0,25	33,08	9,8583	14,28	5,91	1,06	1,06	85,07	0,15	12,71%	51,61%	0,690358415	44,57	6,613261641
M19	0,18	0,05	50,94	5,9393	6,84	3,56	0,50	0,5	75,65	0,18	0,00%	21,95%	0,868316094	81,76	14,55823336
M20	0,16	0,04	318,52	2,7754	3,23	1,67	0,95	0,95	73,36	0,18	0,00%	23,46%	0,859260929	92,22	16,28015844
M21	0,18	0,11	30,91	6,6650	8,55	4,00	0,44	0,44	79,01	0,16	7,97%	36,75%	0,779526552	67,47	11,01521635
M22	0,09	0,03	255,70	1,8257	3,29	1,10	0,79	0,79	88,98	0,13	13,62%	74,18%	0,554914348	31,45	3,957241727
M23	0,38	0,17	34,56	6,9550	12,54	4,17	0,90	0,90	89,75	0,13	17,23%	74,23%	0,554622491	29,02	3,649544597
M24	0,13	0,04	32,19	4,7299	8,53	2,84	0,45	0,45	91,10	0,13	25,67%	74,25%	0,554504985	24,81	3,119645455
M25	0,09	0,05	66,63	2,9252	5,96	1,76	0,53	0,53	92,16	0,12	21,14%	84,86%	0,490811636	21,60	2,487066583

Tabela A-3: Dados de entrada do modelo hidrológico, Córrego Pinheirinho - Cenário com Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.

SUB BACIA	Área	L	Declividade Equivalente	Tc_Corrigido (min)	Tc	V corrigido	v	CN	α	Imp	% Urb	FCTc	Lag (min)	S (mm)	Abs. Inicial (mm)
P1	0,8074	1,16	101,93	10,1607	10,18	1,90	1,90	81,13	0,20	0,00%	0,28%	1,00	6,0964	59,07	11,7969
P2	0,4893	1,08	26,64	12,8497	16,59	1,39	1,08	85,58	0,16	2,77%	37,58%	0,77	7,7098	42,79	6,9507
P3	0,4085	0,88	25,41	12,5782	15,67	1,17	0,94	84,81	0,17	0,98%	32,88%	0,80	7,5469	45,51	7,6051
P4	0,5004	0,82	140,70	5,9019	7,86	2,32	1,74	86,02	0,16	1,17%	41,52%	0,75	3,5411	41,27	6,5407
P5	0,1381	0,34	237,47	2,8007	4,60	2,04	1,24	88,42	0,13	2,64%	65,19%	0,61	1,6804	33,26	4,4832
P6	0,0767	0,44	356,18	3,4251	4,31	2,12	1,69	84,57	0,17	0,00%	34,31%	0,79	2,0550	46,34	7,6773
P7	0,1539	0,31	203,38	3,1950	4,72	1,64	1,11	86,87	0,15	3,07%	53,74%	0,68	1,9170	38,40	5,6165
P8	0,0633	0,15	30,07	5,8051	7,33	0,42	0,33	85,33	0,17	3,21%	34,61%	0,79	3,4831	43,67	7,2233
P9	0,0662	0,44	79,82	3,7931	7,70	1,94	0,95	91,09	0,12	3,12%	84,62%	0,49	2,2759	24,84	2,8664
P10	0,1365	0,35	40,79	5,1072	9,15	1,15	0,64	89,75	0,13	1,99%	73,60%	0,56	3,0643	29,00	3,6650
P11	0,0351	0,33	42,30	3,8025	8,79	1,44	0,62	91,71	0,11	0,00%	94,59%	0,43	2,2815	22,97	2,4207
P12	0,1182	0,34	26,62	6,2706	10,60	0,90	0,53	89,11	0,13	2,10%	68,08%	0,59	3,7624	31,04	4,0944
P13	0,1128	0,50	22,79	10,6385	13,12	0,79	0,64	83,84	0,17	5,11%	31,48%	0,81	6,3831	48,97	8,2529
P14	0,2065	0,57	158,99	5,1353	6,51	1,84	1,45	84,69	0,16	0,26%	35,26%	0,79	3,0812	45,92	7,5649
P15	0,0090	0,09	87,12	1,9959	3,98	0,72	0,36	93,41	0,12	0,00%	83,00%	0,50	1,1975	17,93	2,0975
P16	0,1307	0,76	63,05	7,1938	10,42	1,77	1,22	87,56	0,15	3,61%	51,62%	0,69	4,3163	36,07	5,3527
P17	0,0034	0,02	84,85	1,0810	2,12	0,25	0,13	91,18	0,12	9,29%	81,56%	0,51	0,6486	24,57	2,9098
P18	0,0706	0,50	142,27	5,2086	6,49	1,61	1,29	84,59	0,17	0,00%	32,88%	0,80	3,1252	46,29	7,7351
P19	0,0735	0,53	121,27	5,8045	7,03	1,52	1,25	85,51	0,17	4,23%	29,10%	0,83	3,4827	43,04	7,3564
P20	0,0499	0,20	51,07	4,5585	6,81	0,75	0,50	87,85	0,14	2,26%	55,06%	0,67	2,7351	35,12	5,0906
P21	0,0917	0,22	30,91	6,7237	8,55	0,55	0,44	85,13	0,16	1,73%	35,56%	0,79	4,0342	44,36	7,2947
P22	0,1066	0,62	47,67	9,5521	10,69	1,08	0,96	83,01	0,18	2,16%	17,68%	0,89	5,7313	51,97	9,4750
P23	0,3909	1,15	84,62	6,9250	10,88	2,76	1,76	87,72	0,14	0,59%	60,56%	0,64	4,1550	35,56	4,9583
P24	0,1169	0,39	24,52	8,7346	11,54	0,74	0,56	86,19	0,16	3,60%	40,53%	0,76	5,2407	40,68	6,4875
P25	0,2023	0,82	143,94	6,8260	7,81	2,01	1,76	84,67	0,18	2,07%	20,95%	0,87	4,0956	45,97	8,2316
P26	0,0333	0,17	34,97	2,9235	7,31	0,96	0,38	92,96	0,10	8,31%	100,00%	0,40	1,7541	19,24	1,9245
P27	0,3444	0,93	76,33	8,3398	10,46	1,86	1,49	85,10	0,17	1,36%	33,76%	0,80	5,0039	44,48	7,3945
P28	0,0525	0,27	16,49	11,3534	11,77	0,40	0,39	81,10	0,19	0,00%	5,85%	0,96	6,8120	59,18	11,4902
P29	0,1792	0,33	10,76	10,9853	14,86	0,50	0,37	86,83	0,16	4,31%	43,50%	0,74	6,5912	38,53	6,0296
P30	0,2529	0,82	48,26	7,3261	11,89	1,87	1,15	88,37	0,14	0,85%	64,00%	0,62	4,3957	33,42	4,5456
P31	0,0875	0,31	21,57	6,1351	11,18	0,85	0,47	90,50	0,12	3,60%	75,21%	0,55	3,6811	26,66	3,3276
P32	0,1150	0,51	46,69	4,9246	9,99	1,71	0,85	91,06	0,12	0,00%	84,48%	0,49	2,9548	24,94	2,8805
P33	0,0553	0,25	16,65	5,3226	11,31	0,78	0,37	91,51	0,11	3,90%	88,25%	0,47	3,1935	23,56	2,6334
P34	0,0898	0,48	15,18	7,0005	15,07	1,14	0,53	92,16	0,11	2,27%	89,23%	0,46	4,2003	21,61	2,3941
P35	0,9184	1,31	21,54	9,6246	19,40	2,27	1,13	92,79	0,12	20,83%	84,00%	0,50	5,7748	19,74	2,2899

Tabela A-4: Dados de entrada do modelo hidrológico, Córrego do Mursa - Cenário com Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.

SUB BACIA	Área	L	Declividade Equivalente	Tc_Corrigido (min)	Tc	tlag	V Corrigido	v	CN	α	Imp	%Urb	FCTc	S (mm)	Abs. Inicial (mm)
M1	0,39	0,89	85,07	9,8544	9,85	5,91	1,51	1,51	80,48	0,20	0,00%	0,00%	1	61,61	12,3227
M2	0,90	0,89	34,24	11,8759	13,95	7,13	1,25	1,06	84,13	0,18	3,46%	24,78%	0,851321	47,90	8,3930
M3	0,08	0,44	88,78	4,5459	7,39	2,73	1,61	0,99	89,22	0,14	10,72%	64,14%	0,615137	30,68	4,1675
M4	0,05	0,16	18,94	6,5615	9	3,94	0,40	0,29	87,66	0,15	13,91%	45,16%	0,72905	35,77	5,5387
M5	0,08	0,50	47,68	5,0702	9,9	3,04	1,66	0,85	91,06	0,12	1,49%	81,31%	0,512144	24,94	2,9598
M6	0,10	0,25	19,17	8,2623	10,71	4,96	0,51	0,39	86,37	0,16	4,62%	38,09%	0,771458	40,10	6,4918
M7	0,13	0,63	63,31	5,8360	9,69	3,50	1,81	1,09	89,33	0,13	5,44%	66,29%	0,602273	30,35	4,0581
M8	0,16	0,41	16,92	7,2756	13,57	4,37	0,93	0,5	90,35	0,12	3,18%	77,31%	0,536156	27,12	3,3278
M9	0,11	0,41	93,77	5,6924	7,02	3,42	1,20	0,97	85,78	0,17	5,97%	31,52%	0,810886	42,12	7,0966
M10	0,03	0,11	40,43	4,2470	5,93	2,55	0,45	0,32	87,34	0,15	4,16%	47,30%	0,716183	36,81	5,6209
M11	0,06	0,48	97,13	6,7670	7,34	4,06	1,17	1,08	83,90	0,19	6,40%	13,01%	0,921933	48,76	9,1169
M12	0,10	0,50	61,72	4,1579	8,95	2,49	2,02	0,94	91,41	0,11	0,00%	89,24%	0,464567	23,87	2,6443
M13	0,05	0,15	34,20	3,0027	7,06	1,80	0,85	0,36	92,13	0,10	1,13%	95,78%	0,425311	21,70	2,2616
M14	0,19	0,48	15,88	7,8006	14,76	4,68	1,02	0,54	90,55	0,12	1,82%	78,58%	0,528499	26,52	3,2199
M15	0,25	0,70	3,30	9,0225	11,13	5,41	1,30	1,05	86,10	0,17	4,44%	31,56%	0,810651	41,02	6,9093
M16	0,12	0,39	3,30	15,4318	24,97	9,26	0,42	0,26	91,71	0,14	5,91%	63,66%	0,618014	22,97	3,1315
M17	0,11	0,47	103,14	3,2582	7,15	1,95	2,41	1,1	91,68	0,11	1,73%	90,72%	0,455699	23,05	2,5193
M18	0,25	0,91	33,08	8,3373	14,28	5,00	1,82	1,06	90,99	0,13	12,88%	69,36%	0,583846	25,14	3,2844
M19	0,05	0,21	50,94	2,7399	6,84	1,64	1,25	0,5	92,63	0,10	2,57%	99,90%	0,400571	20,22	2,0235
M20	0,04	0,18	318,52	1,2920	3,23	0,78	2,37	0,95	92,50	0,10	0,00%	100,00%	0,4	20,59	2,0595
M21	0,11	0,23	30,91	6,0381	8,55	3,62	0,62	0,44	87,68	0,15	7,98%	48,96%	0,706216	35,70	5,3919
M22	0,03	0,16	255,70	1,3160	3,29	0,79	1,97	0,79	93,25	0,10	13,68%	100,00%	0,4	18,38	1,8380
M23	0,17	0,68	34,56	5,8050	12,54	3,48	1,94	0,9	92,37	0,11	17,21%	89,51%	0,462922	20,99	2,3195
M24	0,04	0,23	32,19	3,7330	8,53	2,24	1,03	0,45	93,35	0,11	27,04%	93,73%	0,437633	18,08	1,9214
M25	0,05	0,19	66,63	2,5056	5,96	1,50	1,26	0,53	93,40	0,10	23,03%	96,60%	0,420397	17,94	1,8554

Tabela A-5: Dados de entrada do modelo hidrológico, Córrego Pinheirinho - Cenário com Técnicas de Conservação. Fonte: Autor.

SUB BACIA	Área	L	Declividade Equivalente	Tc_Corrigido (min)	Tc	V corrigido	v	CN	α	Imp	% Urb	FCTc	Lag (min)	S (mm)	Abs. Inicial (mm)
P1	0,8074	1,16	101,93	10,1779	10,18	1,90	1,90	61,38	0,20	0,00%	0,00%	1,00	6,1067	159,81	31,9622
P2	0,4893	1,08	26,64	16,5900	16,59	1,08	1,08	67,74	0,20	0,00%	0,00%	1,00	9,9540	120,95	24,1894
P3	0,4085	0,88	25,41	15,6700	15,67	0,94	0,94	59,91	0,20	0,00%	0,00%	1,00	9,4020	169,99	33,9974
P4	0,5004	0,82	140,70	7,8600	7,86	1,74	1,74	59,19	0,20	0,00%	0,00%	1,00	4,7160	175,12	35,0231
P5	0,1381	0,34	237,47	4,6000	4,60	1,24	1,24	53,19	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,7600	223,55	44,7109
P6	0,0767	0,44	356,18	4,3130	4,31	1,69	1,69	50,20	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,5878	251,98	50,3952
P7	0,1539	0,31	203,38	4,7156	4,72	1,11	1,11	56,67	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,8294	194,22	38,8447
P8	0,0633	0,15	30,07	7,3264	7,33	0,33	0,33	63,62	0,20	0,00%	0,00%	1,00	4,3958	145,28	29,0550
P9	0,0662	0,44	79,82	7,5900	7,70	0,97	0,95	63,14	0,20	2,83%	2,48%	0,99	4,5540	148,28	29,2886
P10	0,1365	0,35	40,79	8,6963	9,15	0,67	0,64	68,73	0,19	1,99%	8,20%	0,95	5,2178	115,58	22,1675
P11	0,0351	0,33	42,30	8,7934	8,79	0,62	0,62	58,33	0,20	0,00%	0,00%	1,00	5,2760	181,46	36,2911
P12	0,1182	0,34	26,62	10,5146	10,60	0,53	0,53	75,50	0,20	2,10%	1,35%	0,99	6,3087	82,43	16,3753
P13	0,1128	0,50	22,79	13,1154	13,12	0,64	0,64	63,48	0,20	0,01%	0,00%	1,00	7,8693	146,12	29,2231
P14	0,2065	0,57	158,99	6,5132	6,51	1,45	1,45	51,15	0,20	0,26%	0,00%	1,00	3,9079	242,60	48,5193
P15	0,0090	0,09	87,12	3,9760	3,98	0,36	0,36	85,54	0,20	0,00%	0,00%	1,00	2,3856	42,93	8,5867
P16	0,1307	0,76	63,05	10,2053	10,42	1,25	1,22	68,57	0,20	3,61%	3,45%	0,98	6,1232	116,42	22,8826
P17	0,0034	0,02	84,85	2,0048	2,12	0,14	0,13	80,58	0,19	9,29%	8,83%	0,95	1,2029	61,23	11,7055
P18	0,0706	0,50	142,27	6,4889	6,49	1,29	1,29	61,70	0,20	0,00%	0,00%	1,00	3,8934	157,70	31,5398
P19	0,0735	0,53	121,27	6,8703	7,03	1,28	1,25	77,41	0,20	4,23%	3,84%	0,98	4,1222	74,14	14,5435
P20	0,0499	0,20	51,07	6,7320	6,81	0,51	0,50	62,29	0,20	2,26%	1,84%	0,99	4,0392	153,79	30,4761
P21	0,0917	0,22	30,91	8,4636	8,55	0,44	0,44	62,76	0,20	1,73%	1,64%	0,99	5,0782	150,70	29,8923
P22	0,1066	0,62	47,67	10,5675	10,69	0,97	0,96	59,43	0,20	2,16%	1,85%	0,99	6,3405	173,42	34,3628
P23	0,3909	1,15	84,62	10,8775	10,88	1,76	1,76	56,40	0,20	0,16%	0,00%	1,00	6,5265	196,39	39,2779
P24	0,1169	0,39	24,52	11,2782	11,54	0,57	0,56	67,68	0,20	3,57%	3,80%	0,98	6,7669	121,29	23,7970
P25	0,2023	0,82	143,94	7,7237	7,81	1,78	1,76	69,59	0,20	2,07%	1,78%	0,99	4,6342	110,99	22,0009
P26	0,0333	0,17	34,97	7,3088	7,31	0,38	0,38	83,97	0,20	0,02%	0,00%	1,00	4,3853	48,48	9,6961
P27	0,3444	0,93	76,33	10,4579	10,46	1,49	1,49	61,69	0,20	0,00%	0,00%	1,00	6,2747	157,71	31,5424
P28	0,0525	0,27	16,49	11,7661	11,77	0,39	0,39	52,15	0,20	0,00%	0,00%	1,00	7,0596	233,03	46,6065
P29	0,1792	0,33	10,76	14,5631	14,86	0,38	0,37	77,08	0,20	2,69%	3,38%	0,98	8,7378	75,53	14,8510
P30	0,2529	0,82	48,26	11,8925	11,89	1,15	1,15	64,78	0,20	0,00%	0,00%	1,00	7,1355	138,08	27,6151
P31	0,0875	0,31	21,57	10,9398	11,18	0,48	0,47	75,26	0,20	3,60%	3,58%	0,98	6,5639	83,52	16,4043
P32	0,1150	0,51	46,69	9,9866	9,99	0,85	0,85	55,04	0,20	0,00%	0,00%	1,00	5,9920	207,49	41,4977
P33	0,0553	0,25	16,65	10,9629	11,31	0,38	0,37	74,34	0,19	3,90%	5,15%	0,97	6,5777	87,68	17,0851
P34	0,0898	0,48	15,18	14,0863	15,07	0,57	0,53	58,97	0,19	1,71%	10,85%	0,93	8,4518	176,72	33,4268
P35	0,9184	1,31	21,54	11,0592	19,40	1,98	1,13	80,71	0,13	20,63%	71,68%	0,57	6,6355	60,72	7,7911

Tabela A-6: Dados de entrada do modelo hidrológico, Córrego do Mursa - Cenário com Técnicas de Conservação. Fonte: Autor.

SUB BACIA	Área	L	Declividade Equivalente	Tc_Corrigido (min)	Tc	t _{lag}	V Corrigido	v	CN	α	Imp	%Urb	FCTc	S (mm)	Abs. Inicial (mm)
M1	0,39	0,89	85,07	9,8544	9,85	5,91	1,51	1,51	51,45	0,20	0,00%	0,00%	1,00	239,68	47,937
M2	0,90	0,89	34,24	13,6625	13,95	8,20	1,08	1,06	66,40	0,20	1,85%	3,43%	0,98	128,56	25,270
M3	0,08	0,44	88,78	4,6690	7,39	2,80	1,57	0,99	82,12	0,14	7,85%	61,37%	0,63	55,30	7,666
M4	0,05	0,16	18,94	8,1646	9	4,90	0,32	0,29	77,23	0,18	4,34%	15,47%	0,91	74,88	13,818
M5	0,08	0,50	47,68	9,9000	9,9	5,94	0,85	0,85	72,87	0,20	0,00%	0,00%	1,00	94,55	18,910
M6	0,10	0,25	19,17	10,4130	10,71	6,25	0,40	0,39	68,97	0,20	4,62%	4,62%	0,97	114,27	22,327
M7	0,13	0,63	63,31	7,0784	9,69	4,25	1,49	1,09	83,86	0,16	5,44%	44,92%	0,73	48,88	7,581
M8	0,16	0,41	16,92	13,3107	13,57	7,99	0,51	0,5	63,64	0,20	3,18%	3,18%	0,98	145,14	28,566
M9	0,11	0,41	93,77	6,5843	7,02	3,95	1,03	0,97	80,38	0,19	2,49%	10,35%	0,94	61,99	11,756
M10	0,03	0,11	40,43	5,3772	5,93	3,23	0,35	0,32	74,66	0,18	4,16%	15,54%	0,91	86,21	15,903
M11	0,06	0,48	97,13	6,9842	7,34	4,19	1,14	1,08	78,52	0,19	3,65%	8,08%	0,95	69,46	13,332
M12	0,10	0,50	61,72	8,9500	8,95	5,37	0,94	0,94	57,46	0,20	0,00%	0,00%	1,00	188,04	37,609
M13	0,05	0,15	34,20	6,8762	7,06	4,13	0,37	0,36	53,80	0,20	0,08%	4,34%	0,97	218,10	42,673
M14	0,19	0,48	15,88	13,8242	14,76	8,29	0,58	0,54	61,08	0,19	1,82%	10,57%	0,94	161,82	30,655
M15	0,25	0,70	3,30	9,7864	11,13	5,87	1,19	1,05	77,65	0,18	4,44%	20,12%	0,88	73,09	13,147
M16	0,12	0,39	3,30	18,8122	24,97	11,29	0,35	0,26	79,25	0,16	5,91%	41,10%	0,75	66,49	10,565
M17	0,11	0,47	103,14	6,2149	7,15	3,73	1,27	1,1	62,44	0,18	0,00%	21,80%	0,87	152,77	27,224
M18	0,25	0,91	33,08	11,1356	14,28	6,68	1,36	1,06	77,39	0,16	12,88%	36,70%	0,78	74,21	12,118
M19	0,05	0,21	50,94	5,9393	6,84	3,56	0,58	0,5	65,90	0,18	0,00%	21,95%	0,87	131,41	23,399
M20	0,04	0,18	318,52	2,7754	3,23	1,67	1,11	0,95	62,17	0,18	0,00%	23,46%	0,86	154,58	27,289
M21	0,11	0,23	30,91	6,6650	8,55	4,00	0,56	0,44	81,95	0,16	7,98%	36,75%	0,78	55,94	9,132
M22	0,03	0,16	255,70	1,8257	3,29	1,10	1,42	0,79	81,52	0,13	13,68%	74,18%	0,55	57,58	7,245
M23	0,17	0,68	34,56	6,9550	12,54	4,17	1,62	0,9	84,10	0,13	17,21%	74,23%	0,55	48,03	6,041
M24	0,04	0,23	32,19	4,7299	8,53	2,84	0,81	0,45	81,71	0,13	25,53%	74,25%	0,55	56,85	7,149
M25	0,05	0,19	66,63	2,9252	5,96	1,76	1,08	0,53	84,12	0,12	21,14%	84,86%	0,49	47,95	5,520

Tabela A-7: Resultados obtidos na modelagem hidrológica - Cenário Atual. Fonte: Autor.

Área	Área de drenagem (km²)	Pico de vazão (m3/s)	Volume (mm)	Área	Área de drenagem (km²)	Pico de vazão (m3/s)	Volume (mm)
P1	0,8074	3,8	26,28	M1	0,3887	1,5	22,07
P2	0,4893	3,6	40,46	M2	0,9027	6,2	38,23
P3	0,4085	0,3	4,82	M3	0,0792	1,4	72
P4	0,5004	2,8	30,49	M4	0,0548	0,7	54,48
P5	0,1381	0,8	31,82	M5	0,0816	0,9	53,33
P6	0,0767	0,4	25,3	M6	0,0968	0,7	40,84
P7	0,1539	1	33,8	M7	0,1255	2,2	72,04
P8	0,0633	0,4	35,71	M8	0,1606	1,4	46,61
P9	0,0662	0,6	45,61	M9	0,1075	1,2	50,99
P10	0,1365	1,4	48,66	M10	0,0301	0,3	49,62
P11	0,0351	0,3	41,21	M11	0,0606	0,5	41,53
P12	0,1182	1,4	54,77	M12	0,1048	0,7	37,35
P13	0,1128	0,8	39,94	M13	0,0463	0,3	36,48
P14	0,2065	1	26,6	M14	0,191	1,5	43,16
P15	0,009	0,2	80,73	M15	0,2463	2,8	53,15
P16	0,1307	1,1	44,1	M16	0,1216	1,9	74,74
P17	0,0034	0,1	90,11	M17	0,1122	1,2	47,21
P18	0,0706	0,5	36,2	M18	0,2489	4,5	77,87
P19	0,0735	0,8	47,95	M19	0,0526	0,6	52,11
P20	0,0499	0,4	42,89	M20	0,0358	0,4	47,91
P21	0,0917	0,6	36,75	M21	0,111	1,6	63,7
P22	0,1066	0,7	34,18	M22	0,0266	0,6	86,48
P23	0,3909	2,5	34,18	M23	0,1704	3,7	88,98
P24	0,1169	1,3	52,12	M24	0,0422	1	93,59
P25	0,2023	2,6	57,23	M25	0,0478	1,2	94,73
P26	0,0333	0,6	74,12				
P27	0,3444	2,6	39,75				
P28	0,0525	0,2	23,83				
P29	0,1792	1,8	51,87				
P30	0,2529	2	44,44				
P31	0,0875	1,1	58,12				
P32	0,115	0,8	38,53				
P33	0,0553	0,7	60,89				
P34	0,0898	0,7	44,54				
P35	0,9184	19,4	89,47				

Tabela A-8: Resultados obtidos na modelagem hidrológica - Cenário com Urbanização Intensificada. Fonte: Autor.

Área	Área de drenagem (km²)	Pico de vazão (m³/s)	Volume (mm)	Área	Área de drenagem (km²)	Pico de vazão (m³/s)	Volume (mm)
P1	0,8074	11,3	62,1	M1	0,3887	1,3	74,74
P2	0,4893	8,4	75,12	M2	0,9027	3,3	78,18
P3	0,4085	6,7	72,1	M3	0,0792	21,8	95,87
P4	0,5004	9,3	76,06	M4	0,0548	9,3	76,06
P5	0,1381	2,8	81,86	M5	0,0816	2,8	81,86
P6	0,0767	1,4	71,25	M6	0,0968	1,4	71,25
P7	0,1539	3	78,19	M7	0,1255	3	78,19
P8	0,0633	1,1	74,17	M8	0,1606	1,1	74,17
P9	0,0662	1,5	88,56	M9	0,1075	1,5	88,56
P10	0,1365	2,9	84,93	M10	0,0301	8,4	75,12
P11	0,0351	0,8	89,53	M11	0,0606	1	80,15
P12	0,1182	2,4	83,35	M12	0,1048	1,6	73,21
P13	0,1128	1,9	71,62	M13	0,0463	1,7	67,82
P14	0,2065	3,6	71,65	M14	0,191	7,6	79,51
P15	0,009	0,2	93,47	M15	0,2463	2,1	76,42
P16	0,1307	2,5	79,82	M16	0,1216	3,5	71,74
P17	0,0034	0,1	90,11	M17	0,1122	0,9	94,15
P18	0,0706	1,2	71,23	M18	0,2489	6	72,93
P19	0,0735	1,3	74,74	M19	0,0526	0,7	62,31
P20	0,0499	1	80,15	M20	0,0358	6,7	72,1
P21	0,0917	1,6	73,21	M21	0,111	5	81,18
P22	0,1066	1,7	67,82	M22	0,0266	1,9	87,1
P23	0,3909	7,6	79,51	M23	0,1704	2,5	87,76
P24	0,1169	2,1	76,42	M24	0,0422	1,3	89,77
P25	0,2023	3,5	71,74	M25	0,0478	2	90,95
P26	0,0333	0,9	94,15				
P27	0,3444	6	72,93				
P28	0,0525	0,7	62,31				
P29	0,1792	3,3	78,18				
P30	0,2529	5	81,18				
P31	0,0875	1,9	87,1				
P32	0,115	2,5	87,76				
P33	0,0553	1,3	89,77				
P34	0,0898	2	90,95				
P35	0,9184	21,8	95,87				

Tabela A-9: Resultados obtidos na modelagem hidrológica - Cenário com Técnicas de Conservação. Fonte: Autor.

Área	Área de drenagem (km²)	Pico de vazão (m3/s)	Volume (mm)	Área	Área de drenagem (km²)	Pico de vazão (m3/s)	Volume (mm)
P1	0,8074	3,7	26,1	M1	0,3887	0,8	13,21
P2	0,4893	3,2	36,2	M2	0,9027	0,7	5,33
P3	0,4085	1,6	23,95	M3	0,0792	1,3	68,94
P4	0,5004	2	22,94	M4	0,0548	0,7	56,02
P5	0,1381	0,3	15,12	M5	0,0816	0,7	45,36
P6	0,0767	0,2	11,71	M6	0,0968	0,7	40,34
P7	0,1539	0,5	19,04	M7	0,1255	2,1	71,24
P8	0,0633	0,3	29,49	M8	0,1606	0,9	32,01
P9	0,0662	0,4	30,13	M9	0,1075	1,6	61,62
P10	0,1365	1	39,25	M10	0,0301	0,3	51,08
P11	0,0351	0,1	21,74	M11	0,0606	0,8	57,97
P12	0,1182	1,3	51,13	M12	0,1048	0,4	20,55
P13	0,1128	0,6	29,29	M13	0,0463	0,1	16,3
P14	0,2065	0,4	12,89	M14	0,191	0,9	27,37
P15	0,009	0,1	30,45	M15	0,2463	3,1	57,14
P16	0,1307	1	39,68	M16	0,1216	1,5	61,84
P17	0,0034	0,1	63,64	M17	0,1122	0,6	29,61
P18	0,0706	0,3	26,57	M18	0,2489	3,2	59,92
P19	0,0735	0,9	55,66	M19	0,0526	0,4	34,97
P20	0,0499	0,3	28,56	M20	0,0358	0,2	29,35
P21	0,0917	0,5	29,03	M21	0,111	1,8	67,47
P22	0,1066	0,4	24,38	M22	0,0266	0,5	69,67
P23	0,3909	1,2	19,21	M23	0,1704	3,1	75,27
P24	0,1169	0,8	37,73	M24	0,0422	0,7	72,63
P25	0,2023	1,6	40,28	M25	0,0478	0,9	76,49
P26	0,0333	0,5	68,42				
P27	0,3444	1,6	26,56				
P28	0,0525	0,1	13,9				
P29	0,1792	2	54,53				
P30	0,2529	1,4	31,33				
P31	0,0875	0,9	51,26				
P32	0,115	0,3	17,39				
P33	0,0553	0,6	49,71				
P34	0,0898	0,4	24,36				
P35	0,9184	14,4	69,65				

Figura A-1: Mapa das Vazões Específicas - Cenário Atual. Fonte: Autor.

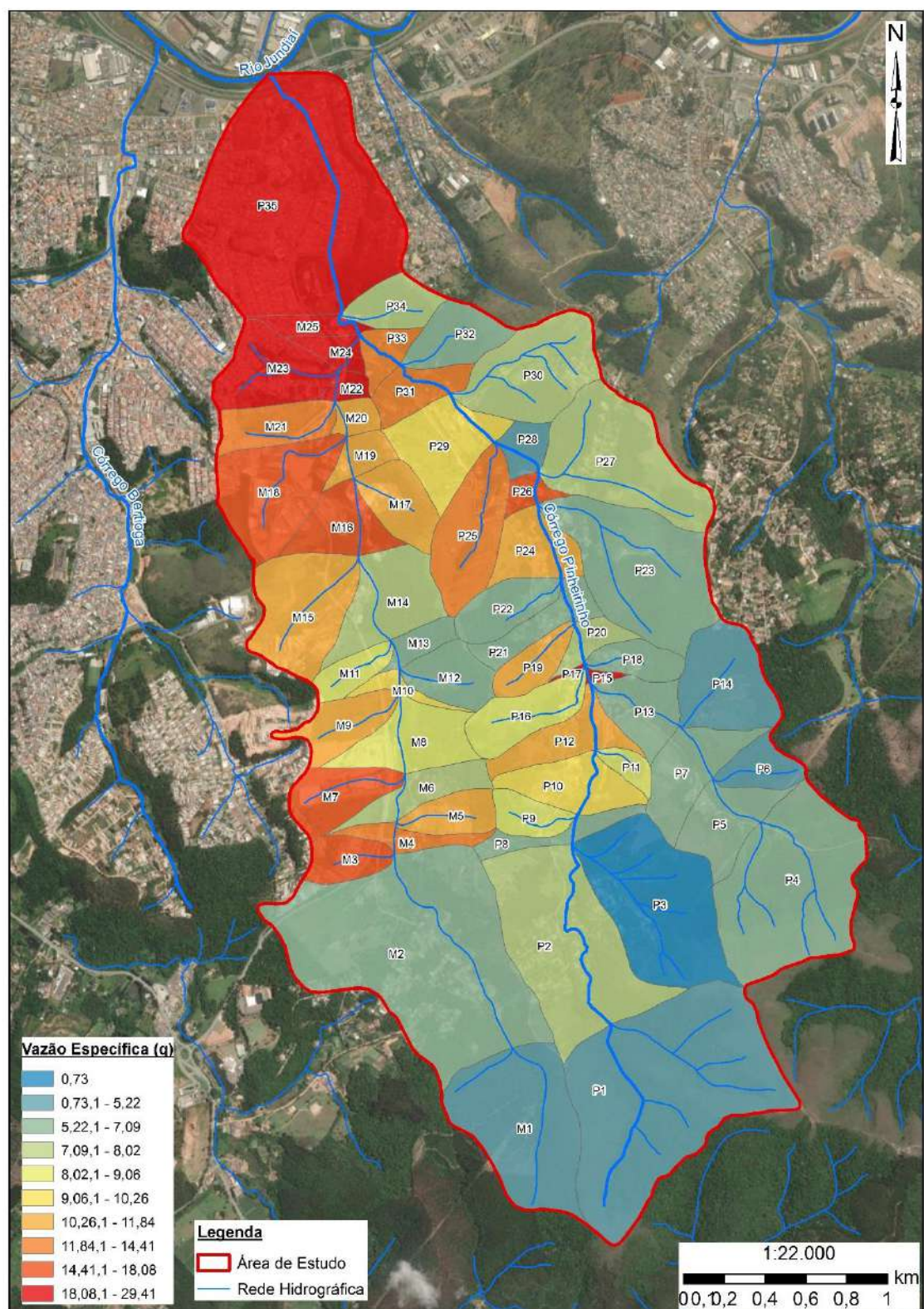


Figura A-2: Mapa das Vazões Específicas - Cenário com Urbanização Intensificada.
Fonte: Autor.

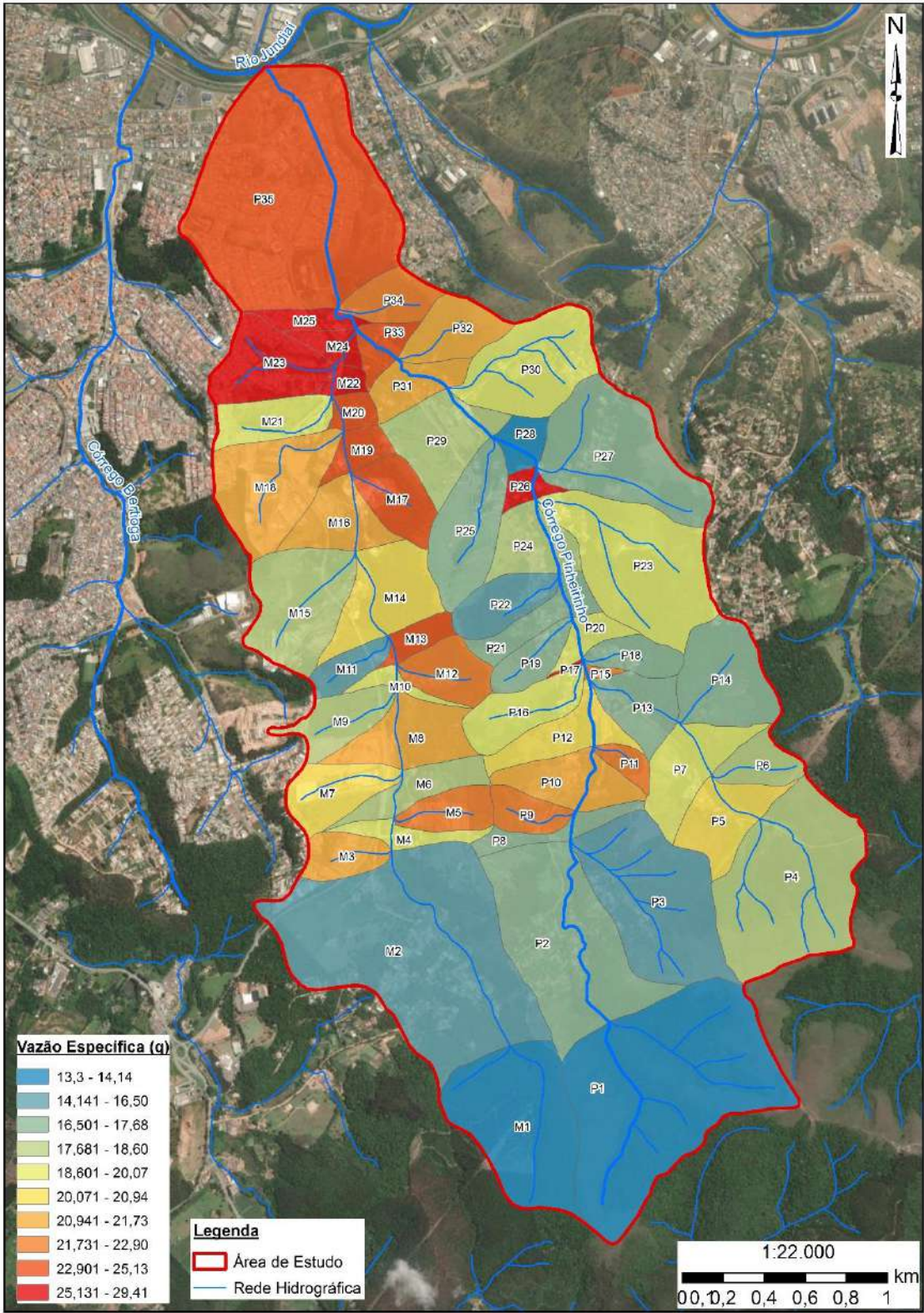


Figura A-3: Mapa das Vazões Específicas - Cenário com Técnicas de Conservação.
 Fonte: Autor.

