

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - FCTH

**ATUALIZAÇÃO DO CADERNO DE BACIA DO MANDAQUI -
ALTERNATIVAS PARA O CANAL DO CÓRREGO VILA AURORA**

São Paulo/2024

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA - FCTH

**ATUALIZAÇÃO DO CADERNO DE BACIA DO MANDAQUI -
ALTERNATIVAS PARA O CANAL DO CÓRREGO VILA AURORA**

Revisão 0

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
2.	INUNDAÇÕES NO TRECHO DO CÓRREGO VILA AURORA.....	6
2.1.	Descrição da rede de drenagem e área de estudo	6
2.2.	Descrição dos eventos de inundação registrados em 2023	12
3.	CADERNO DE BACIA DO MANDAQUI	15
4.	MODELO HIDRÁULICO-HIDROLÓGICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO VILA AURORA	18
4.1.	Eventos para calibração do modelo	19
4.2.	Eventos de precipitação simulados	22
4.3.	Vazões de pico dos hidrogramas	23
5.	VERIFICAÇÃO DAS VAZÕES.....	25
6.	MEDIDAS ESTRUTURAIS AVALIADAS.....	25
	EM FUNÇÃO DOS DESAFIOS ENCONTRADOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE ESTRUTURAS DE DRENAGEM NAS BACIAS URBANAS RELACIONADAS A INTENSA OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO, FORAM VERIFICADAS MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA A MITIGAÇÃO DAS INUNDAÇÕES DESTA BACIA, AS QUAIS FORAM INDICADAS NA FIGURA 19, E LISTADAS ABAIXO:	25
7.	ALTERNATIVAS E RESULTADOS	26
8.	PREMISSAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	33
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bacia do córrego Mandaqui e sub-bacias	7
Figura 2 – Detalhe das bacias do córrego Vila Aurora (MD-01_4 e MD-01_5)	7
Figura 3 – Avenida Daniel Malettini, local de interesse, abertura para acesso a galeria do canal principal do córrego Vila Aurora	9
Figura 4 – Fotos do local de interesse, na travessia do canal principal com a Travessa Pascoal Presto, visão a jusante	10
Figura 5 – Fotos da travessia do canal principal com a Travessa Pascoal Presto, visão a montante	11
Figura 6 – Fotos do local de bifurcação do córrego Vila Aurora na Rua Donato Luongo x Avenida Meireles Reis	12
Figura 7 – Vista da inundação na Avenida Água Fria	13
Figura 8 – Vista da inundação na Avenida Água Fria com visada para montante na Rua Vaz Muniz	13
Figura 9 – Vista da Travessa Pascoal Presto e Praça Rufus King Lane, observando a montante	14
Figura 10 – Vista Travessa Pascoal Presto e Praça Rufus King Lane, observando a jusante	14
Figura 11 – Propostas da alternativa 1 do caderno de bacia do Mandaqui	16
Figura 12 – Propostas da alternativa 2 do caderno de bacia do Mandaqui	17
Figura 13 - Sub-bacia considerada na análise	19
Figura 14 – Manchas geradas para o evento 1	20
Figura 15 – Manchas geradas para o evento 2	21
Figura 16 – Manchas geradas para o evento 3	21
Figura 17 – Hietogramas utilizados na análise do trecho de canalização	23
Figura 18 – Pontos de locais de interesse para controle de vazões	24
Figura 19 – Medidas propostas para o córrego Vila Aurora	26
Figura 20 – Localização das células do reservatório Vila Aurora	28
Figura 20 – Localização das células do reservatório Vila Aurora	31
Figura 21 – Hidrogramas resultantes a jusante da Rua Vaz Muniz	32
Figura 22 – Hidrogramas resultantes a jusante do córrego Vila Aurora no Mandaqui	33

Figura 23 – Hidrogramas resultantes a jusante do córrego Vila Aurora no Mandaqui34

1. INTRODUÇÃO

As inundações ocorrem anualmente no Município de São Paulo, tendo como consequências danos e perdas à sociedade, como o prejuízo à locomoção de veículos e pessoas e o comprometimento da integridade física e da segurança da população, atingindo lotes e residências, provocando mortes e perdas materiais e gerando sentimento geral de insatisfação na população. Especialmente no caso de São Paulo, o aumento de áreas impermeabilizadas e a crescente ocupação de áreas de várzea de rios e córregos decorrentes do processo de intensa urbanização são fatores que intensificam os impactos negativos dos eventos de precipitação intensa, de forma que estes se tornem preocupação constante tanto para governantes quanto para a população.

Neste contexto, a Prefeitura de São Paulo trabalha incessantemente na proposição e desenvolvimento de alternativas para o controle de cheias no âmbito do município, visando a reduzir os impactos supracitados e minimizar os riscos apresentados pelos eventos de chuva no município.

Os Cadernos de Bacia Hidrográfica têm como premissa o alinhamento entre propostas, projetos e estudos existentes para cada bacia hidrográfica e as soluções apresentadas nas alternativas do respectivo Caderno. Tal alinhamento tem o objetivo de evitar conflitos entre o Programa de Obras da PMSP e novas intervenções inseridas a partir dos Cadernos de Bacia.

Previamente à proposição de alternativas, realiza-se o levantamento de projetos existentes e intervenções em curso nas bacias estudadas, visando à compatibilização entre projetos, obras e o planejamento, baseado nos Cadernos de Bacia Hidrográfica.

Eventualmente, após a conclusão dos cadernos, surgem novos pontos de interesse para reduzir o risco de inundações que não haviam sido previamente constatados nos levantamentos e relatos da população.

Desta forma existe a necessidade de inclusão de algumas medidas analisadas no conjunto de propostas elencadas no caderno. Assim, compatibilizando as estruturas no âmbito da drenagem da bacia hidrográfica.

No caso de projetos em andamento, é de suma importância a consideração destes no escopo dos Cadernos, uma vez que ajustes na fase de projeto são de execução mais simples, têm menor custo, além de evitarem problemas nas fases

Relatório Técnico: Atualização do caderno de bacia do Mandaqui

subsequentes. A identificação precoce de incompatibilidades contribui para menor ocorrência de modificações na fase de obras e complicações após a entrega das intervenções.

Este relatório apresenta a análise de alternativas referente a alterações na canalização e implantação de um reservatório no córrego de cabeceira denominado Vila Aurora, contribuintes do Córrego Mandaqui, afluente do Rio Tietê, localizado na zona Norte do Município de São Paulo.

A proposta de alternativas visa reduzir o impacto das inundações nas Rua Vaz Muniz, Avenida Água Fria, Avenida Daniel Malettini, Praça Rufus King Lane e Rua Donato Luongo, ao longo do córrego Vila Aurora.

Tem-se como objetivo estimar o volume do reservatório necessário e o comprimento dos trechos de reforço ou substituição da canalização a ser executado, frente à possibilidade de integrarem as alternativas propostas pelo Caderno de Bacia do Córrego Mandaqui.

2. INUNDAÇÕES NO TRECHO DO CÓRREGO VILA AURORA

2.1. Descrição da rede de drenagem e área de estudo

O córrego Vila Aurora é um dos córregos formadores do Córrego Mandaqui, localizado na zona Norte do Município de São Paulo. Com trechos em canal natural, canalizados e em galeria, atravessa áreas atingidas por inundações na bacia, em especial pela insuficiência de escoamento e restrições de vazão de seus canais para eventos de precipitação críticos. O problema se agrava devido ao adensamento da ocupação às margens do córrego.

A Figura 1 apresenta a bacia do Mandaqui e a divisão em sub-bacias adotada para fins do estudo.

A Figura 2 apresenta em detalhe as sub-bacias contribuintes ao Mandaqui e do córrego Vila Aurora.

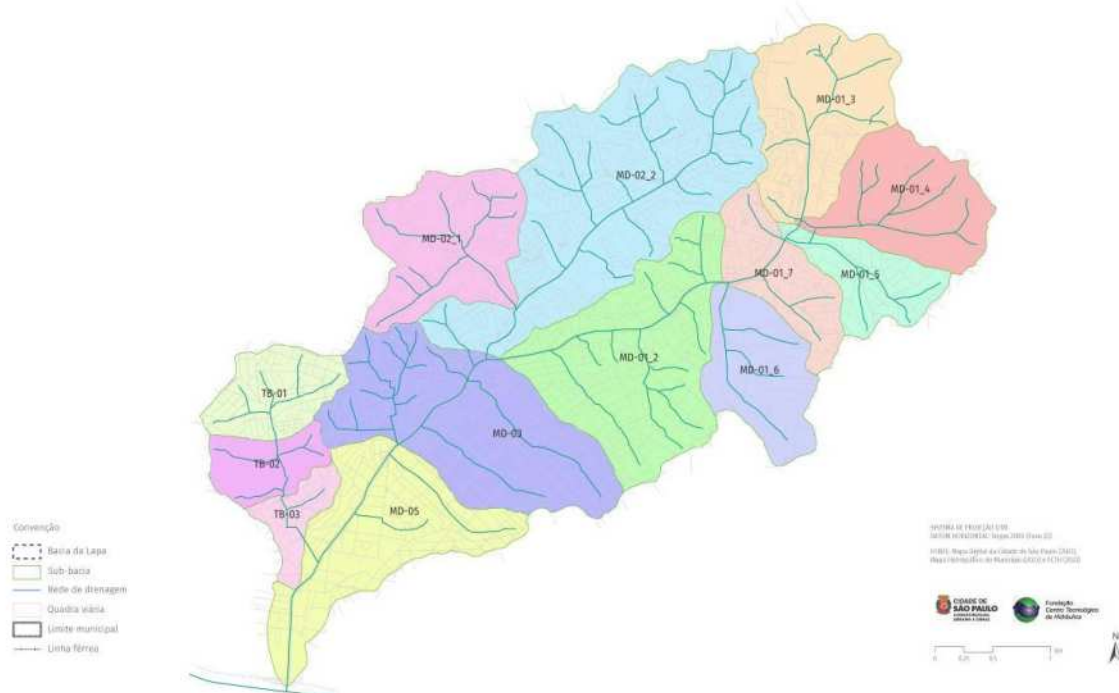


Figura 1 – Bacia do córrego Mandaqui e sub-bacias

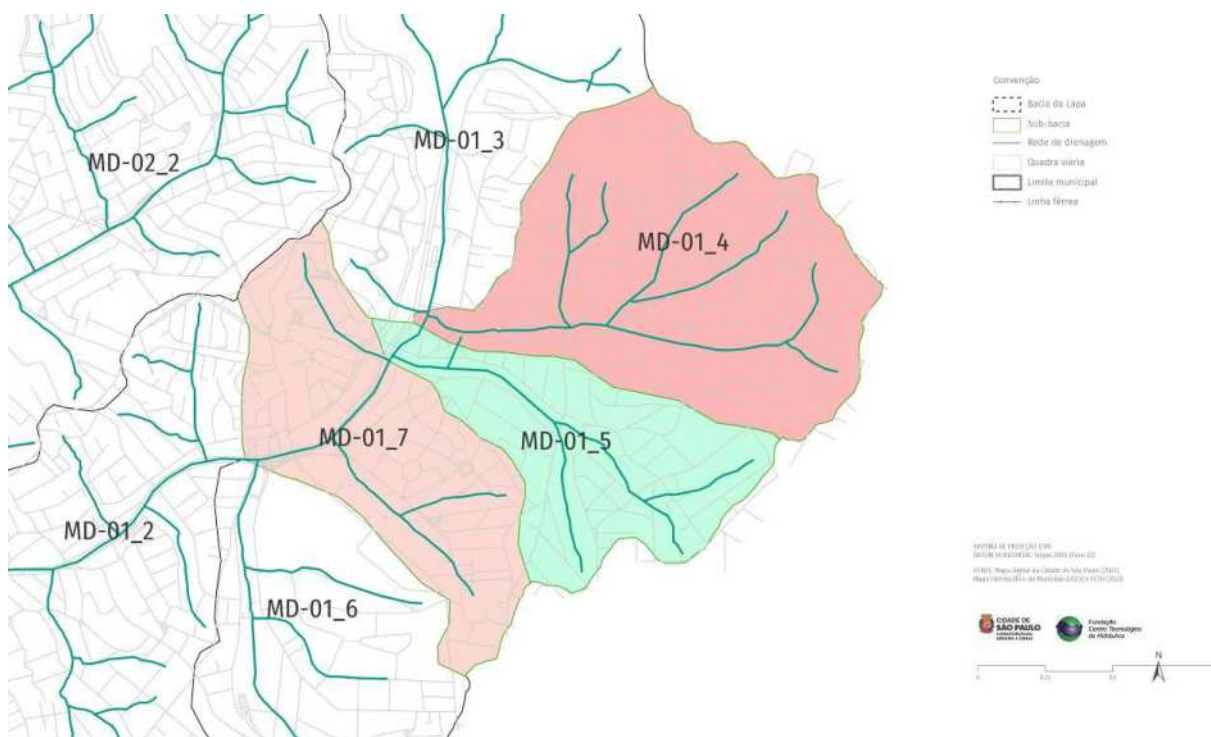


Figura 2 – Detalhe das bacias do córrego Vila Aurora (MD-01_4 e MD-01_5)

A seleção das sub-bacias a serem estudadas levou em conta a configuração da rede de drenagem atual. Nesta configuração, a galeria do córrego Vila Aurora (MD-

01_4), possui uma bifurcação, definida pela presença de uma galeria de reforço que conduz parte das vazões afluentes do córrego para a sub-bacia adjacente (MD-01_5).

Desta forma, foi simulada também a contribuição da sub-bacia MD-01_5, para a rede de drenagem estudada.

Segundo registros de inundação no local foi possível verificar que em diversos pontos ao longo do canal principal existem obstruções e restrições de seção, o que implica em reduções também na capacidade de escoamento das seções transversais atuais, principalmente nas travessias da galeria da Rua Vaz Muniz, encaminhada por galeria circular de 1,5 m de diâmetro sob os lotes e sob a Avenida Daniel Malettini (Figura 3), onde o escoamento passa a ser restrito a uma seção aberta até a Praça Rufus King Lane.

Outro ponto de restrição das seções se dá após a Travessa Pascoal Presto e a Rua Donato Luongo, onde ocorre o estreitamento da seção aberta para uma galeria de dimensão cadastral de 1,0 metro.



Figura 3 – Avenida Daniel Malettini, local de interesse, abertura para acesso a galeria do canal principal do córrego Vila Aurora

Na Figura 3 acima está retratada a abertura para acesso e vazão do escoamento superficial que se dá sobre a via, ao lado da Avenida Daniel Malettini.

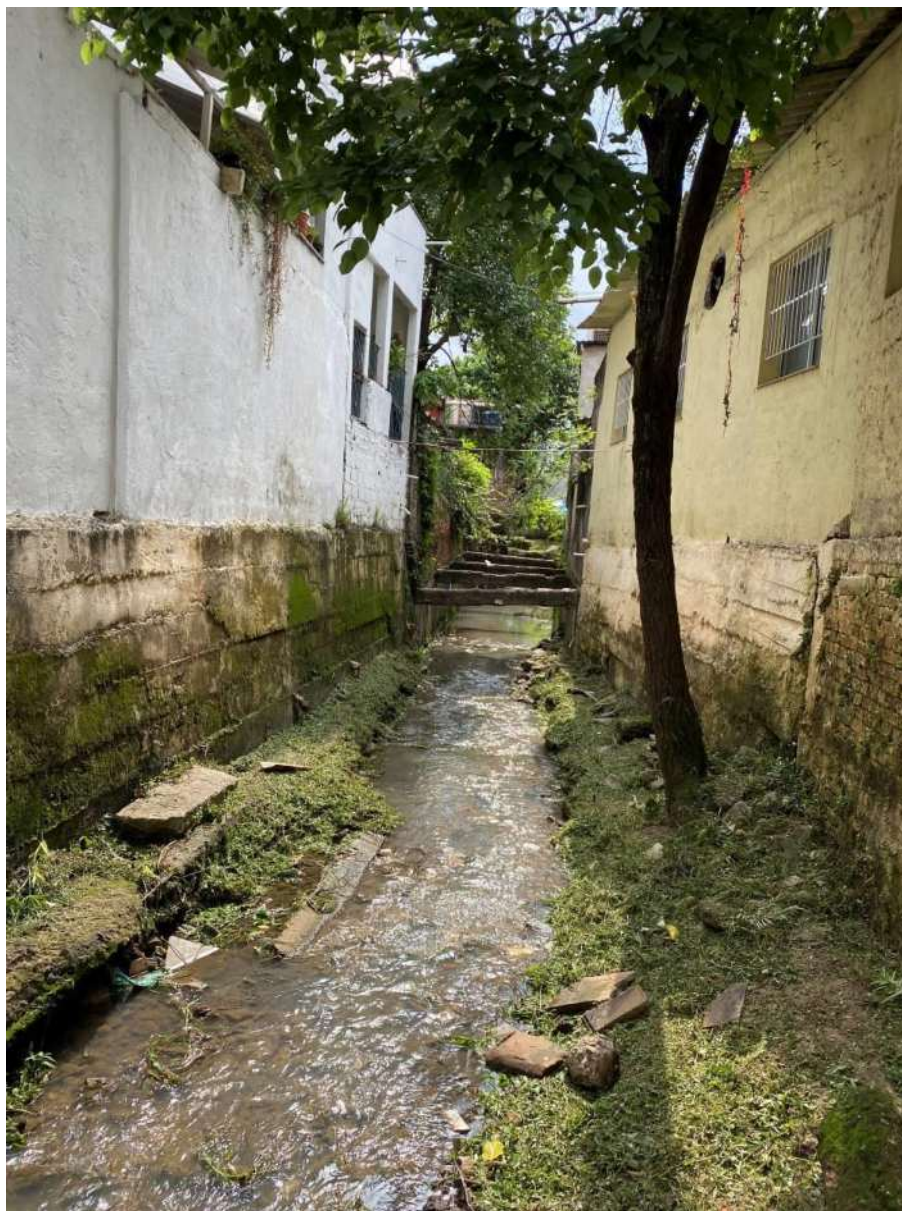


Figura 4 – Fotos do local de interesse, na travessia do canal principal com a Travessa Pascoal Presto, visão a jusante



Figura 5 – Fotos da travessia do canal principal com a Travessa Pascoal Presto, visão a montante

A partir deste ponto o canal principal se divide em um trecho de canal aberto que encaminha o escoamento para sul, para desaguar em um afluente lindeira ao Vila Aurora e uma galeria retangular de 1 x 1 m, que segue sob os lotes até sua chegada na Avenida Engenheiro Caetano Álvares.

A Figura 6 a seguir apresenta o ponto de bifurcação do canal principal e derivação para o córrego lindeiro.



Figura 6 – Fotos do local de bifurcação do córrego Vila Aurora na Rua Donato Luongo x Avenida Meireles Reis

2.2. Descrição dos eventos de inundação registrados em 2023

Ao longo do estudo foram feitas visitas de campo, e contato com a população atingida pelas inundações, para que fosse possível identificar as possíveis causas e também definir com acurácia a extensão da área inundável.

Desta forma, constatou-se que a rede de drenagem da região se mostrou insuficiente para a condução das vazões geradas em eventos de maior intensidade.

A galeria localizada na Rua Vaz Muniz já extravasa parte da vazão para a superfície da via, que se acumula junto a Avenida Água Fria, onde a topografia forma

uma pequena bacia de acumulação que não permite o escoamento para jusante a não ser que a galeria dê vazão ao excesso de escoamento.

Este comportamento pode ser constatado a partir dos registros enviados pela população do local em eventos recentes (Figura 7 e Figura 8).



Figura 7 – Vista da inundação na Avenida Água Fria



Figura 8 – Vista da inundação na Avenida Água Fria com visada para montante na Rua Vaz Muniz

A partir deste ponto, foi verificado o escoamento superficial proveniente das Avenida Daniel Malettini, Travessa Pascoal Presto e Rua Rufus King Lane, culminando no alagamento da seção aberta do canal do córrego Vila Aurora, antes da travessia de veículos na Travessa Pascoal Presto.

Ao atingir sua capacidade máxima de escoamento a travessia extravasa e inicia o alagamento de toda a região.



Figura 9 – Vista da Travessa Pascoal Presto e Praça Rufus King Lane, observando a montante



Figura 10 – Vista Travessa Pascoal Presto e Praça Rufus King Lane, observando a jusante

Foram registrados nos relatos de inundações recentes ao menos 5 eventos ocorridos em 2023. As datas destes eventos serão utilizadas para aferição e calibração dos modelos matemáticos utilizados para simular a bacia.

A seguir estão elencadas as datas citadas:

- 20/02/23
- 10/03/23
- 18/04/23
- 08/10/23
- 15/11/23

3. CADERNO DE BACIA DO MANDAQUI

Os cadernos de Bacia hidrográfica são ferramentas utilizadas pelo município para o planejamento de obras de macrodrenagem. Entre os cadernos já publicados até 2023, consta o caderno de bacia do Mandaqui onde o córrego Vila Aurora está inserido. Desta forma, visando que quaisquer obras propostas nas bacias sejam seguras e efetivas no controle de cheias da bacia hidrográfica do Mandaqui, fez-se necessária a análise de compatibilidade com as intervenções propostas pelo caderno para definir assim se haverá prejuízo ou não a este planejamento quando de uma intervenção.

Ao analisar as duas alternativas propostas pelo caderno, a alternativa 1 aponta a necessidade de instalação de um reservatório a jusante do trecho abordado no presente estudo, além do reforço da galeria principal do Mandaqui existente, enquanto a alternativa 2 propõe apenas o reforço das galerias a jusante.

Estas propostas serão diretamente influenciadas pelas alterações no canal do córrego Vila aurora, portanto, verifica-se que as alterações na rede a montante destes pontos devem ser analisadas em dois momentos. Um primeiro onde a bacia encontra-se ainda sem as intervenções propostas pelo caderno ou sua configuração atual e um segundo cenário onde as obras propostas já tenham sido instaladas.

Desta forma, medidas que aceleram o escoamento como canalizações e reforços de galeria devem ser evitadas pois necessitariam de adaptações nas medidas propostas a jusante. Medidas de retardo do escoamento neste caso são as mais recomendadas, pois não só reduziriam os impactos a jusante como poderiam promover a resiliência das obras propostas pelo caderno de bacia e até mesmo a redução dos volumes de retenção propostos a jusante.

As figuras a seguir apresentam a localização das intervenções propostas pelo caderno e as dimensões das medidas propostas.

O foco na descrição das propostas do caderno será dado a região da bacia do Mandaqui superior, anterior a confluência deste canal com o córrego Lauzane. Neste trecho é proposta para a alternativa 1 a construção de duas intervenções principais. Um trecho de reforço de galeria com seção transversal retangular 4 x 4,5 m e de um reservatório denominado Mandaqui tem volume proposto de 100.000 m³.

Neste local as vazões afluentes são da ordem de 64 m³/s para tempos de retorno mais baixos (5 anos) e de 91 m³/s para tempo de retorno de 100 anos.

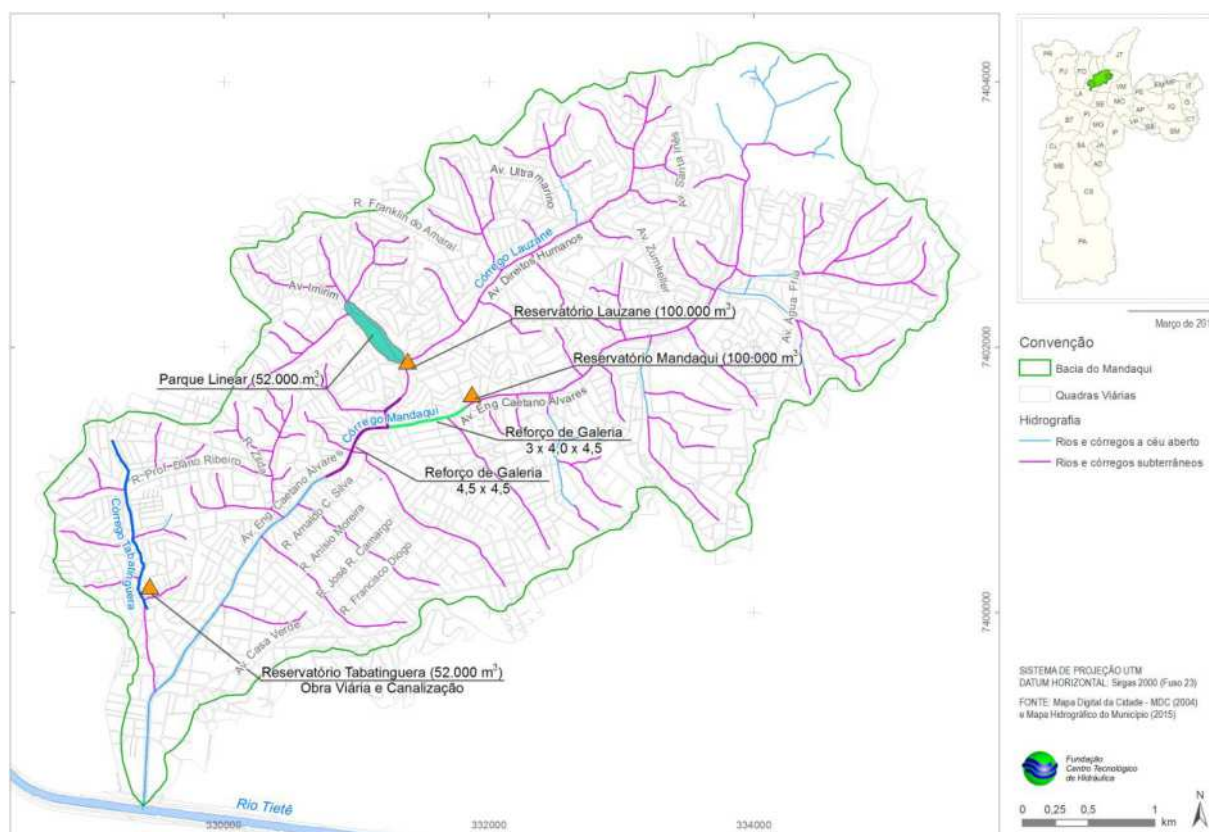


Figura 11 – Propostas da alternativa 1 do caderno de bacia do Mandaqui

No caso da alternativa 2, a obra proposta para o trecho foi apenas o reforço de galeria com seção retangular de 4 x 4 m. Esta alternativa privilegiou o escoamento e aumento das vazões de pico a jusante. Este tipo de medida não é a mais indicada segundo os novos critérios e boas práticas na drenagem urbana, portanto, não será considerada neste estudo.

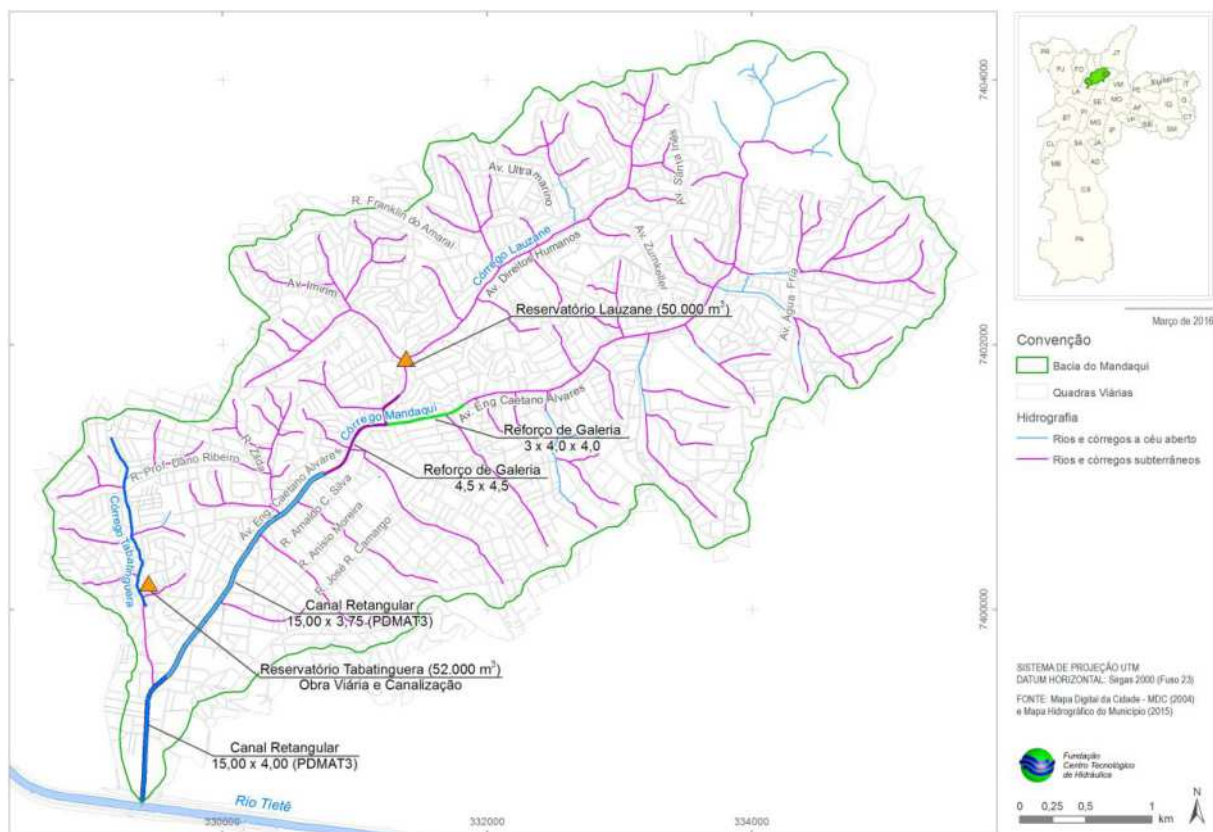


Figura 12 – Propostas da alternativa 2 do caderno de bacia do Mandaqui

4. MODELO HIDRÁULICO-HIDROLÓGICO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO VILA AURORA

A área contribuinte ao local analisado corresponde às sub-bacias MD-01_4 e MD-01_5 em destaque na Figura 13, totalizando 1,94 km². Ressalta-se que existe a contribuição da bacia MD-01_3 que também aflui para o trecho estudado (1,52 km²).

A área impermeável atual da sub-bacia foi estimada por meio de fotointerpretação de imagens aéreas disponíveis para a região de estudo. Essa avaliação consistiu na identificação das áreas permeáveis, ou espaços abertos, e impermeáveis, de acordo com cada uso do solo identificado nessa bacia¹. As sub-bacias estudadas compreendem uma área bastante ocupada, onde a taxa de impermeabilização é superior à média do município, em decorrência da ocupação e urbanização. O mapa de impermeabilização das sub-bacias MD-01_3, MD-01_4 e MD-01_5 é apresentado na Figura 13. A impermeabilização atual média das sub-bacias é estimada atualmente em 85,04, 88,54, 91,12% respectivamente.

Para a proposta das medidas de drenagem para o controle de cheias, foi necessária a verificação da taxa de permeabilidade máxima permitida pela lei de uso e ocupação do solo. Desta forma, a tabela a seguir apresenta as taxas calculadas para as bacias, MD-01_4, MD-01_5 e MD-01_3.

Como é possível notar, a taxa de impermeabilização máxima permitida por lei já foi superada em todas as sub-bacias, principalmente na sub-bacia MD-01_3, que tem mais de 50% de sua área pertencente a ZEPAM, mas encontra-se já extensamente ocupada.

Tabela 1 – Taxas de permeabilidade máxima permitida e atual

Sub-bacias	Impermeabilidade Máxima Permitida (%)	Impermeabilidade atual (%)
MD-01_3	38,07	85,04
MD-01_4	77,39	88,54
MD-01_5	85,76	91,12

¹ Como base dessa análise, foram utilizadas as ortofotos de alta resolução do Mapa Digital da Cidade (2017). Detalhes sobre o método de cálculo são apresentados nos Cadernos de Bacia Hidrográfica.

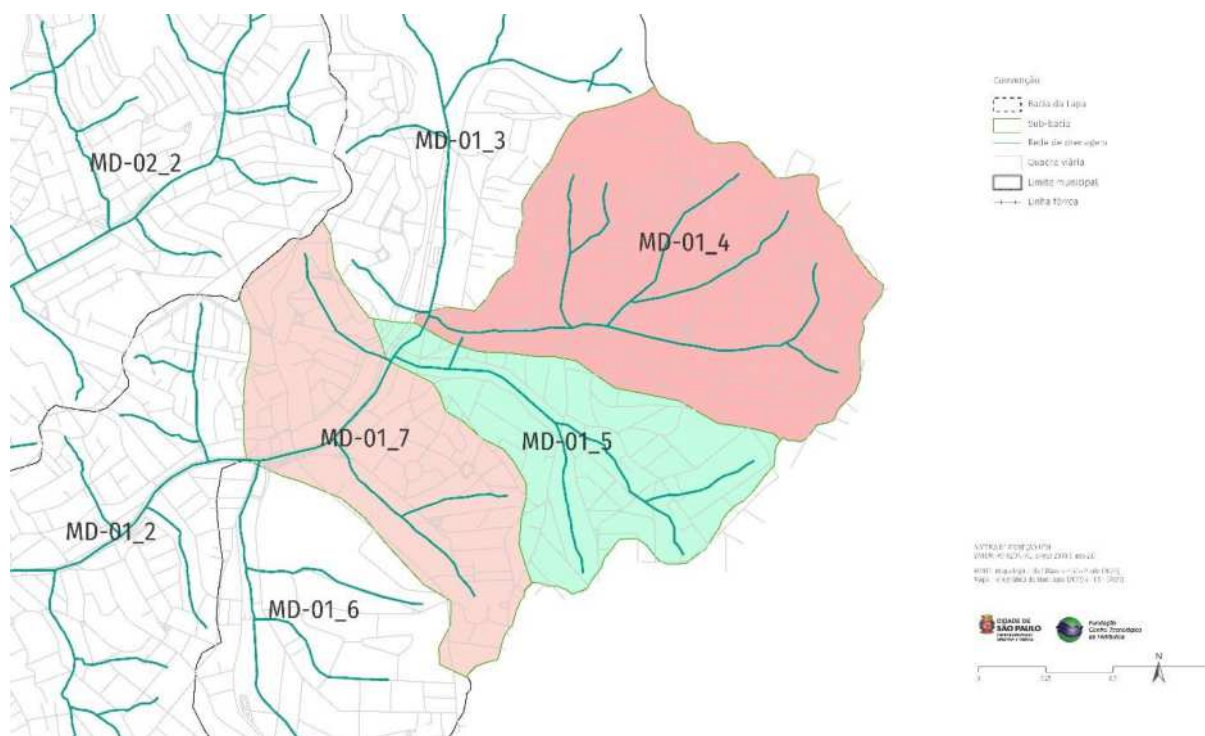


Figura 13 - Sub-bacia considerada na análise

4.1. Eventos para calibração do modelo

Uma das etapas fundamentais para a boa representação do comportamento do escoamento na bacia em um modelo matemático é a fase de calibração dos resultados a partir de dados observados em campo.

Como descrito no item 2.2 anteriormente, foram registrados em 2023 cinco eventos que provocaram o extravasamento do sistema de drenagem dos córregos englobados neste estudo. Destes, apenas 3 possibilitaram a atividade de calibração, uma vez que os registros do radar meteorológico foram possíveis, sendo eles os seguintes:

- Evento 1 - 20/02/23
- Evento 2 - 10/03/23
- Evento 3 - 18/04/23

Após a seleção dos eventos foram utilizados os registros das precipitações provenientes do radar meteorológico de Ponte Nova integradas aos dados pluviométricos das estações da rede telemétrica de monitoramento do município.

Estes eventos foram então simulados e como resultado foram comparadas as manchas de inundação obtidas com aquelas registradas em campo por meio das imagens registradas por moradores da região.

Como resultado foram obtidas as seguintes áreas inundadas apresentadas a seguir nas Figura 14, Figura 15 e Figura 16.



Figura 14 – Manchas geradas para o evento 1



Figura 15 – Manchas geradas para o evento 2



Figura 16 – Manchas geradas para o evento 3

Com a comparação das imagens foi possível inferir que a extensão das manchas foi adequada a área alagada dos registros fotográficos.

Foram avaliadas também as profundidades obtidas na área inundada. Os níveis atingidos no modelo variam de 24 cm a 54 cm acima das cotas de extravasamento do canal no entorno da Praça Rufus King Lane, o que corresponde com os registros das manchas nos muros e marcos encontrados em campo.

Desta forma, o modelo foi considerado apto a diagnosticar e avaliar medidas de drenagem adicionais para tratamento das inundações na bacia.

4.2. Eventos de precipitação simulados

Para verificação das capacidades no trecho do córrego Vila Aurora, foram considerados os eventos teóricos de TR 100 anos, de duração de 2 horas, com distribuição espacial uniforme em toda a bacia.

A intensidade da precipitação foi estimada pela equação intensidade-duração-frequência do manual do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), ajustada para o posto do Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG/USP), conforme a equação (Martinez e Piteri, 2015):

$$i_{t,T} = 32,77 (t + 20)^{-0,8780} + 16,10 (t + 30)^{-0,9306} [-0,4692 - 0,8474 \ln \ln (T/T-1)]$$

Onde: i é a intensidade (mm/min), t é a duração (min) e T é o período de retorno (anos).

O acumulado de precipitação, em 2 horas, é de 66 mm, 77,5 mm, 92,2 mm e 113,9 mm para TR 5, 10, 25 e 100 anos, respectivamente. A distribuição temporal da precipitação segue a curva de distribuição do setor hídrico Tietê-Norte, resultante da análise de eventos de 21 postos telemétricos do SAISP, com duração de 1 a 2 horas. A Figura 17 apresenta os hietogramas resultantes destes parâmetros e utilizados nas simulações.

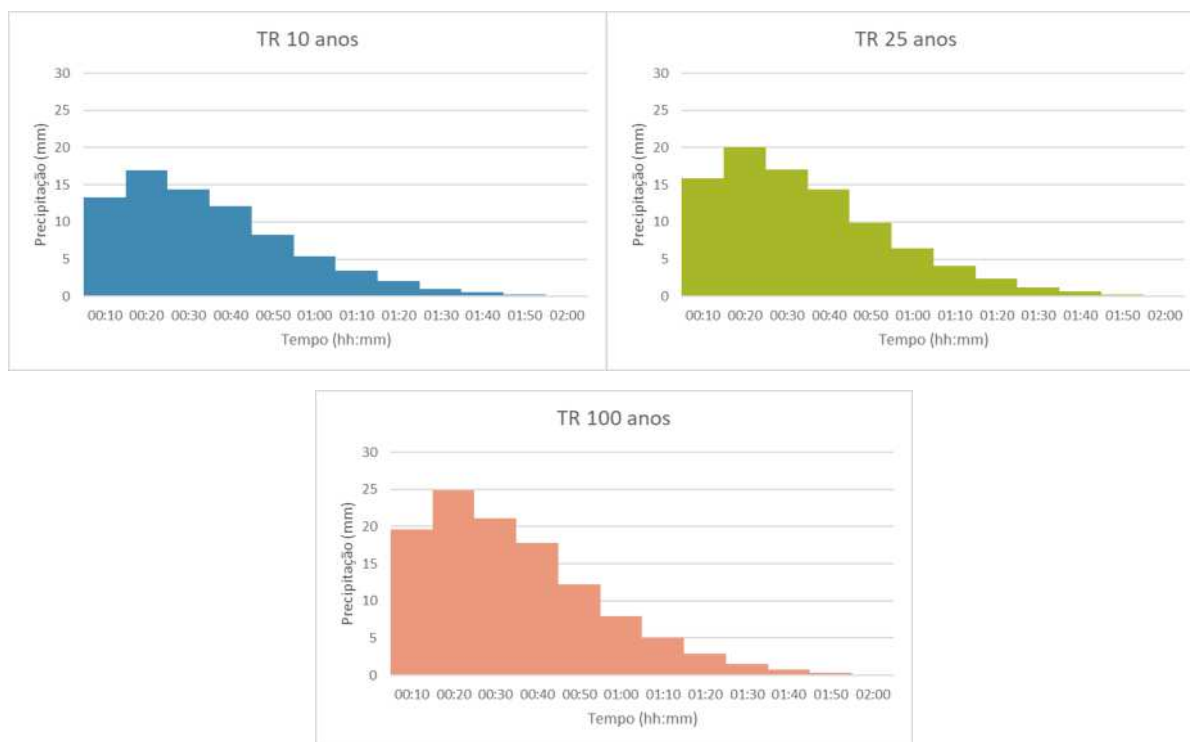


Figura 17 – Hietogramas utilizados na análise do trecho de canalização

4.3. Vazões de pico dos hidrogramas

As vazões máximas afluentes utilizadas para definir e dimensionar as obras a serem propostas foram obtidas para três pontos de interesse a jusante das bacias do córrego Vila Aurora e para a seção de controle a jusante, no canal do córrego Mandaqui na Av. Engenheiro Caetano Álvares.

Os locais de interesse são apresentados no mapa apresentado na Figura 18, e as estimativas de vazão a partir da modelagem matemática, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Acumulados de precipitação e vazões máximas afluentes obtidas para TR 100 anos

Período de retorno	TR100 (m³/s)
Acumulado de precipitação (mm)	113,9
Vazão máxima ponto 1 (m³/s)	75
Vazão máxima ponto 2 (m³/s)	22
Vazão máxima ponto 3 (m³/s)	110

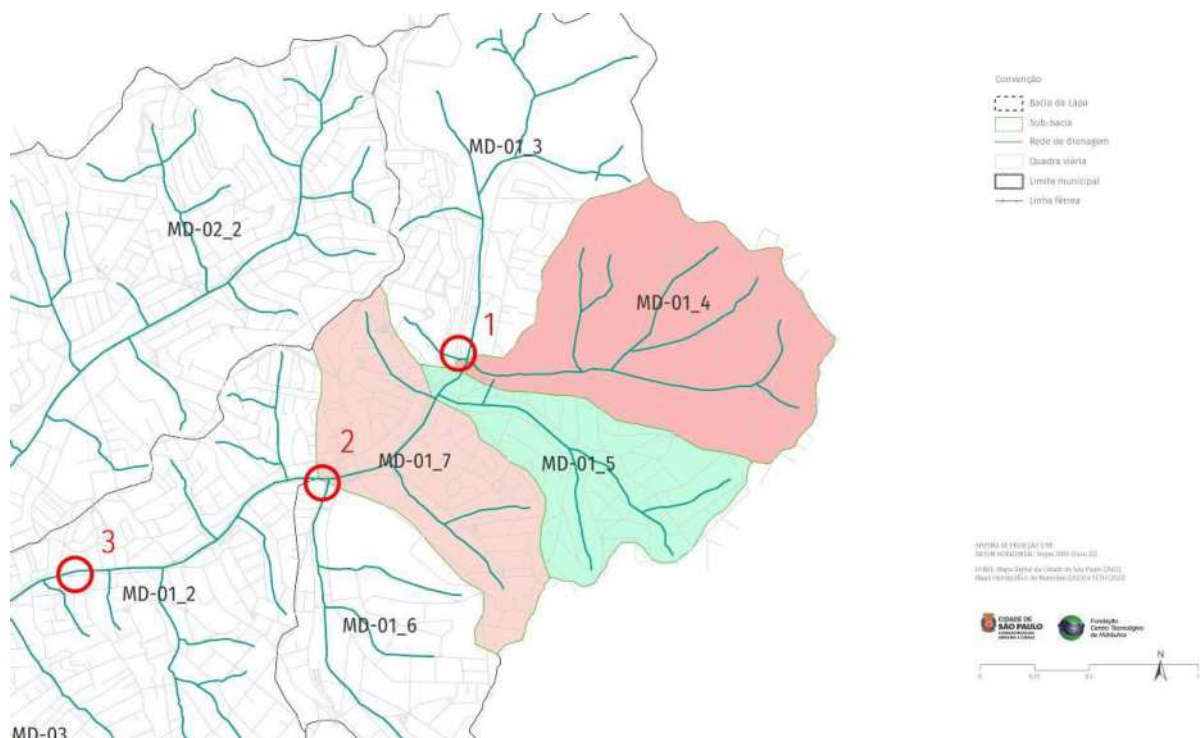


Figura 18 – Pontos de locais de interesse para controle de vazões

Conforme os resultados, as vazões máximas para TR 100 anos ($110 \text{ m}^3/\text{s}$), com chuva de 2h de duração, são superiores a capacidade de escoamento da seção de estudo, no ponto 3 junto a Av. Engenheiro Caetano Álvares, que é de $91 \text{ m}^3/\text{s}$. Por este motivo o Caderno de Bacia Hidrográfica do Mandaqui já propor um reforço desta galeria.

O número de seções de interesse não limitou os estudos a estes três pontos, uma vez que ao longo do canal principal do córrego Vila Aurora, existe a restrição de escoamento em alguns pontos específicos como travessias e reduções de seção transversal que prejudicam o escoamento.

Para algumas seções de travessia e restrição, a seção de escoamento é reduzida o que proporciona uma redução na capacidade de escoamento. Existe o alagamento e remanso para montante nestes pontos. Considera-se, portanto, a necessidade de proteção para TR 100 anos.

O ponto de interesse no canal principal do córrego Mandaqui (3), foi selecionado para que as vazões efluentes dos córregos contribuintes, foco deste estudo, possam ser avaliadas relativamente ao impacto que as obras a serem propostas influenciem nas alternativas elaboradas pelo caderno de bacia.

Como o Caderno do Mundaqui avaliou apenas os trechos a jusante do ponto 3, será possível avaliar qual será o impacto das alterações nas alternativas propostas.

5. VERIFICAÇÃO DAS VAZÕES

A verificação do impacto das obras propostas se inicia com a avaliação das estruturas a jusante da intervenção, neste caso, as seções de canal principal do córrego Mundaqui antes de sua confluência com o braço denominado Lauzane. Desta forma, foi necessária a verificação da vazão máxima permitida para o escoamento ao longo deste canal.

O canal principal do Córrego Mundaqui possui atualmente uma seção retangular dupla com largura de aproximadamente 3,2 m e 2,7 m de profundidade. Este canal suporta em seu trecho mais restritivo aproximadamente 91 m³/s de vazão, definido como o limite para o escoamento atual no canal.

Assim sendo, para a análise dos resultados das simulações fica estabelecido este limite de vazão a ser transmitido para o canal principal do Mundaqui, não devendo ultrapassar este valor quando somadas todas as contribuições.

Para o canal do córrego Vila Aurora, a seção limitante possui dimensões de 1,9 x 1,9 m e tem capacidade de escoamento limite de 12,5 m³/s. Desta forma, será verificada a possibilidade de atender a esta vazão limite ou de construção de dispositivos que restrinjam o escoamento para atingir este valor.

6. MEDIDAS ESTRUTURAIS AVALIADAS

Em função dos desafios encontrados para a implantação de estruturas de drenagem nas bacias urbanas relacionadas a intensa ocupação do território, foram verificadas medidas alternativas para a mitigação das inundações desta bacia, as quais foram indicadas na Figura 19, e listadas abaixo:

- Reservatório de detenção off-line com esvaziamento por bombas
- Reforço de galeria por método não destrutivo



Figura 19 – Medidas propostas para o córrego Vila Aurora

7. ALTERNATIVAS E RESULTADOS

Considerando os fatores descritos nos itens anteriores, foram feitas simulações para dimensionar medidas para o controle das inundações na bacia e avaliar o impacto que a efluência das contribuições da bacia estudada tem no Córrego Mandaqui.

Foram elaboradas três alternativas para o controle das inundações, baseando-se principalmente na adequação das galerias existentes e na reservação de parte do volume escoado em reservatórios compartimentados.

A seguir são elencadas as alternativas e descritas as fases de implantação.

- Alternativa 1 – Adequação das galerias e 5 reservatórios compartimentados
- Alternativa 2 - Adequação das galerias e 2 reservatórios compartimentados a montante da Av. Água Fria

- Alternativa 3 - Adequação das galerias e 2 reservatórios compartimentados a jusante da Av. Água Fria

- Alternativa 1

Nesta alternativa, o córrego Vila aurora teve como proposta a detenção em 5 reservatórios de um volume de 65.000 m³ logo a montante na avenida Água Fria, onde as estruturas propostas poderiam ser instaladas sob o viário e/ou ocupando áreas adjacentes. Estes reservatórios seriam compartimentados em células com instalação separada para níveis de proteção incrementais.

Ao instalar uma célula (área 1), com volume de 23.000 m³ e 4,6 m de profundidade, a proteção almejada é para eventos de até TR 5 anos, ao executar a segunda célula (área 2), com o incremento de 9.000 m³ e 5,6 m de profundidade, o sistema passaria a proteger a região para eventos de até TR 10 anos, assim na sequência, ao executar a terceira célula (área 3), com o incremento de 13.000 m³ e 8 m de profundidade, o sistema passaria a proteger a região para eventos de até TR 25 anos. Finalmente com a execução da quarta célula (área 4), de mais 20.000 m³ e 4 m de profundidade, o sistema estaria protegido para eventos de até TR 100 anos.

- Nível de proteção TR 5 anos – 23.000 m³
+9.000 m³ 
- Nível de proteção TR 10 anos – 32.000 m³
+13.000 m³ 
- Nível de proteção TR 25 anos – 45.000 m³
+20.000 m³ 
- Nível de proteção TR 100 anos – 65.000 m³

Mesmo com a proteção do reservatório se fez necessário também para a proteção de TR 100 anos o reforço ou substituição de três trechos de galerias existentes. Assim como indica a Figura 19 os trechos que apresentavam alguns estrangulamentos na rede foram compatibilizados com as dimensões das seções mais robustas já existentes no córrego.

A localização das células propostas na alternativa 1 é a apresentada a seguir na Figura 20.

A área 1 é caracterizada pela ocupação da região sob o sistema viário, enquanto a área 2 está localizada em um estacionamento da delegacia de polícia na Av. Água Fria. A área 3 está situada em um terreno particular e poderia ser aproveitada apenas mediante desapropriação. A área 4 por sua vez é caracterizada por ser uma praça pública, não necessitando de desapropriações, porém com grande quantidade de vegetação.

Desta forma, visando otimizar o uso destas áreas propõe-se uma avaliação na fase de projeto para melhor uso das áreas disponíveis.



Figura 20 – Localização das células do reservatório Vila Aurora

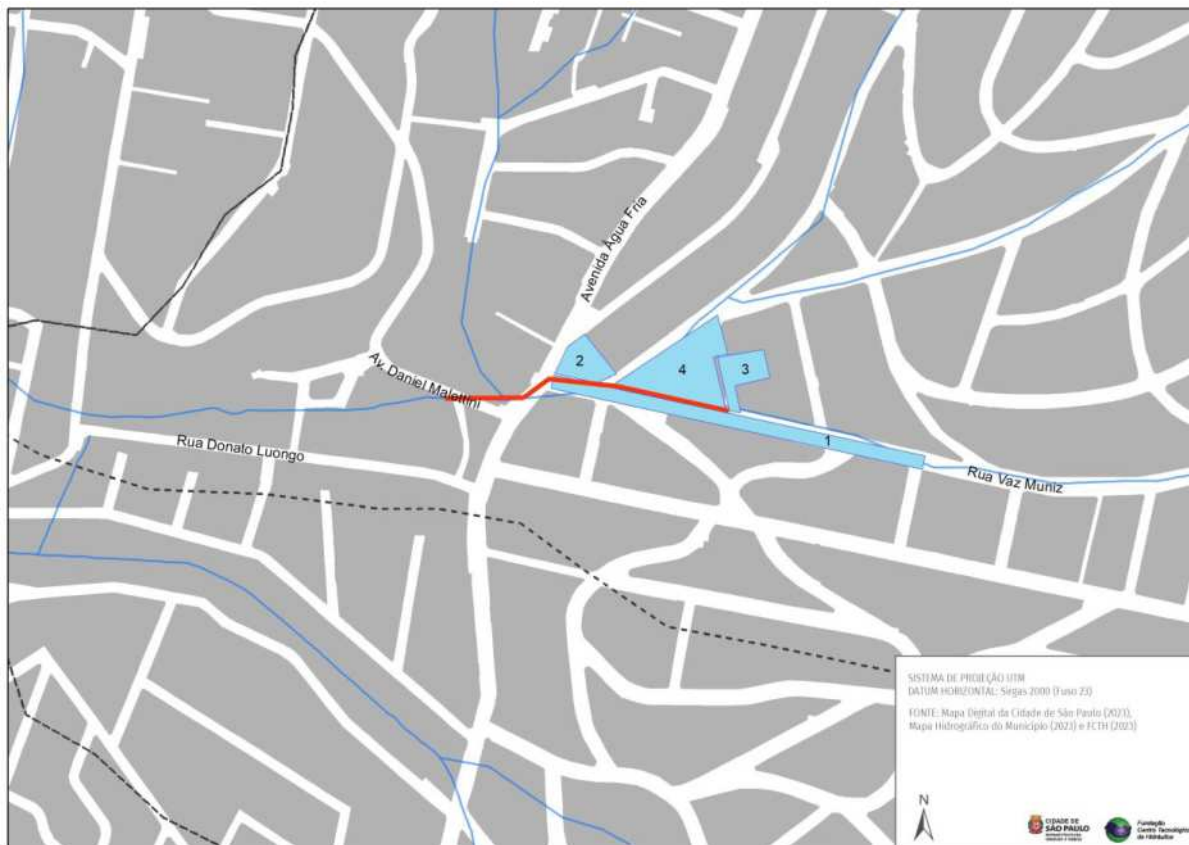


Figura 21 – Configuração da alternativa 1 com galerias e reservatórios propostos

- Alternativa 2

Como a disponibilidade das áreas para a instalação dos dispositivos de drenagem porventura pode limitar a proposta indicada na alternativa 1, e mantendo-se o volume de armazenamento proposto, a configuração dos reservatórios pode ser alterada. A alternativa 2 sugere então a redução no número de reservatórios para apenas dois, instalados nas áreas 1 e 2 para que as áreas 3 e 4 não precisem ser alteradas.

A área 1 seria aprofundada para aproximadamente 10 m, totalizando um volume de 50.000 m³ e proteção de TR 25 anos para a bacia.

A área 2 seria aprofundada para um total de 9,6 m, totalizando volume de 15.000 m³, e proteção de TR 100 anos.

A alternativa 2 não exclui a necessidade das adequações no sistema de galerias existentes. A configuração final da alternativa 2 é apresentada a seguir.

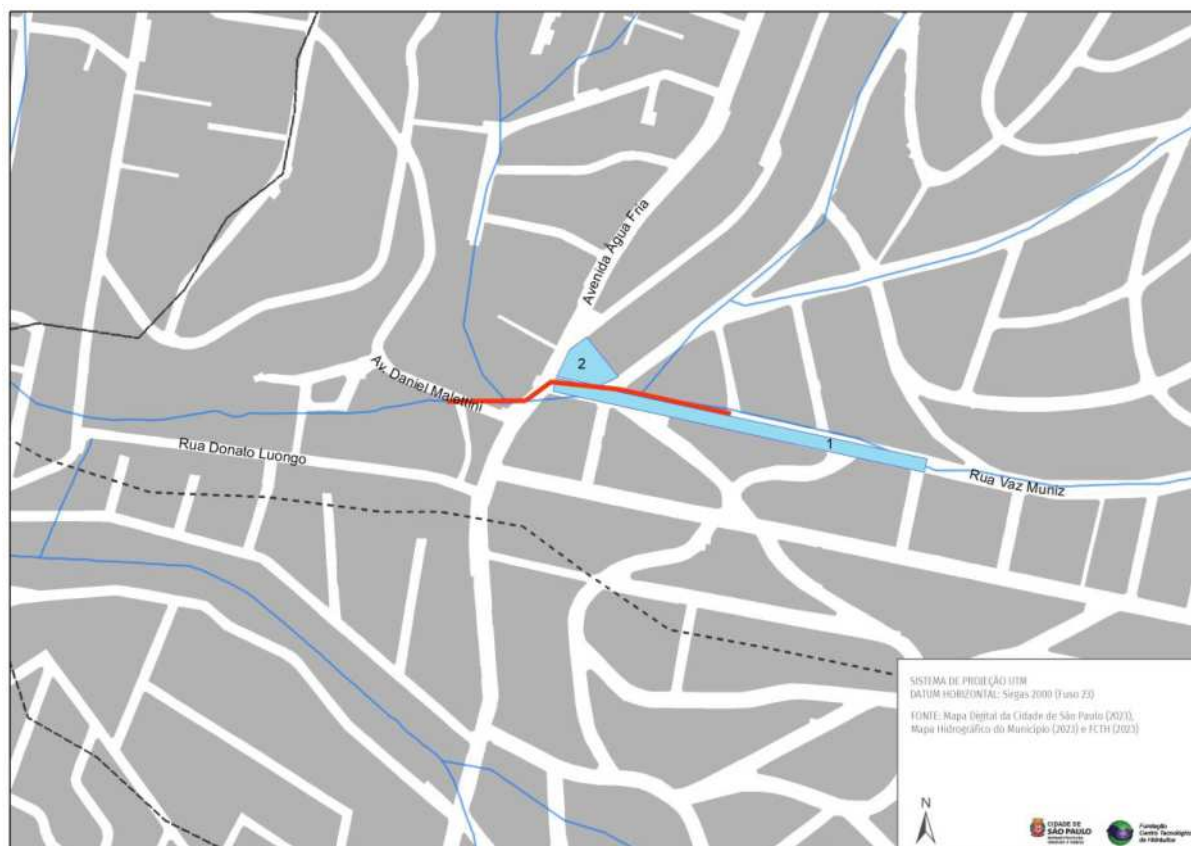


Figura 22 – Configuração da alternativa 2 com galerias e reservatórios propostos

- Alternativa 3

Uma terceira alternativa, a alternativa 3, seria a instalação do reservatório a jusante da Av. Água Fria em uma área particular podendo ser executada em duas etapas complementares. As áreas 5 e 6, apresentadas a seguir, poderiam ser utilizadas para proteção de TR 25 anos e TR 100 anos respectivamente. Esta alternativa deve manter a adequação das galerias existentes na rua Vaz Muniz e avenida Daniel Maletini para encaminhar o fluxo afluente sem obstruções ao reservatório, no entanto a dimensão deste seria alterada em relação as outras duas alternativas.

A seção das galerias a serem substituídas seria inteiramente em seção retangular de 2,6 x 2,6 m. Esta condição se faz necessária uma vez que a inundação da rua Vaz muniz x av. Água Fria não seria protegida pelos reservatórios nesta configuração. Assim, deve existir a transferência do escoamento diretamente a jusante na rua Daniel Maletini onde serão instalados os vertedores de derivação das vazões para os reservatórios.



Figura 23 – Localização das células 5 e 6 dos reservatórios propostos na alternativa 3 na bacia do córrego Vila Aurora

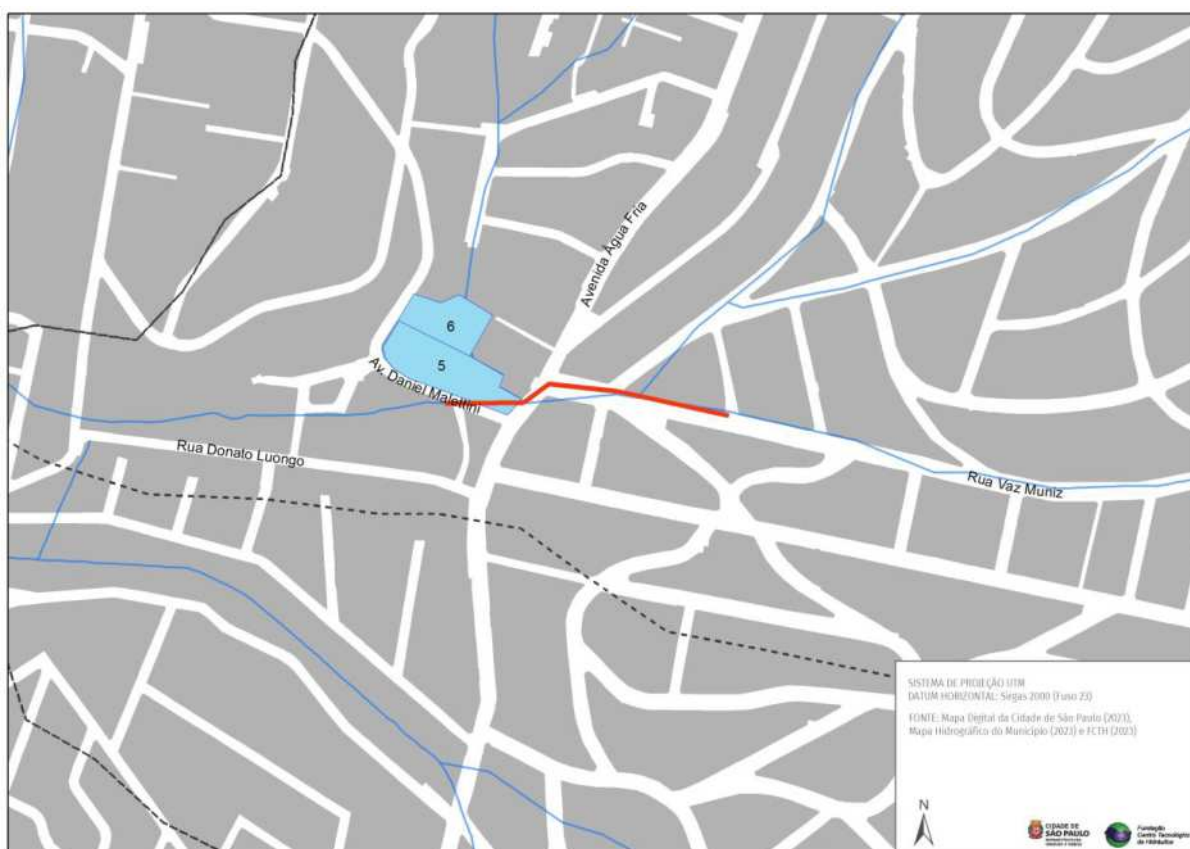


Figura 24 – Configuração da alternativa 3 com galerias e reservatórios propostos

Todos os cenários foram simulados com a premissa de que a proteção final prevista seja para as vazões resultantes de solicitações de TR 100 anos.

A seguir é apresentado o hidrograma resultante da instalação das obras no trecho de jusante do córrego Vila Aurora na avenida Daniel Malettini. Em tons de cinza e azul são apresentados os hidrogramas para as propostas das alternativas 1 a 3 e em marrom a condição pré-obra atual.

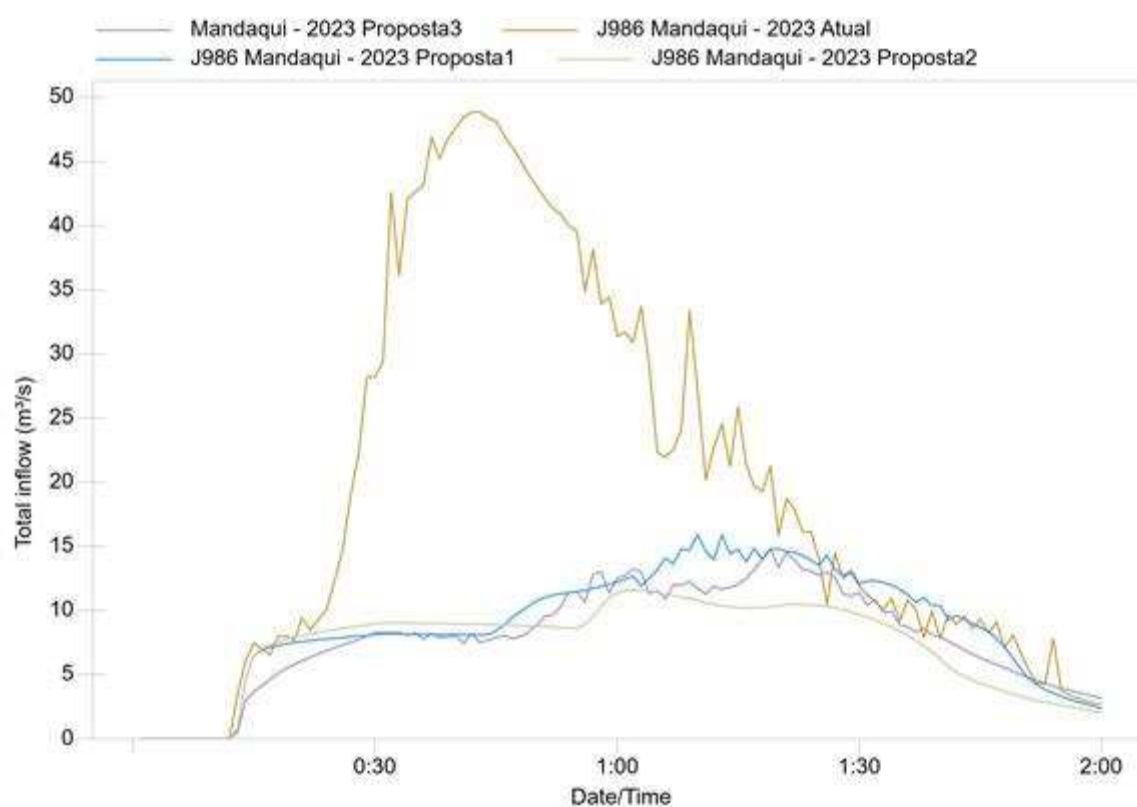


Figura 25 – Hidrogramas resultantes a jusante da Rua Vaz Muniz

A seguir, na Figura 26, é apresentado o hidrograma resultante para o trecho de deságue do córrego Vila Aurora no canal principal do Mandaqui.

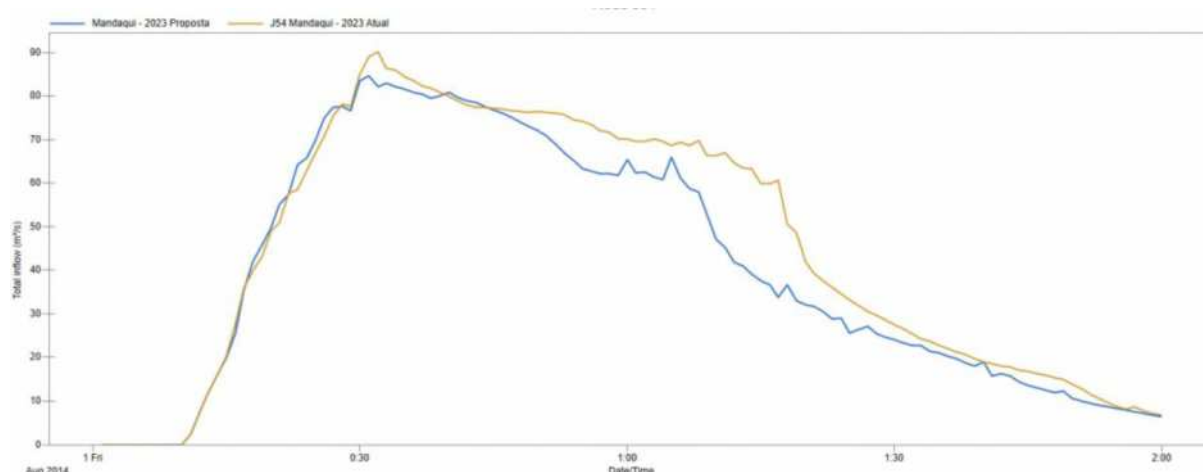


Figura 26 – Hidrogramas resultantes a jusante do córrego Vila Aurora no Mandaqui

8. PREMISSAS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Projetos de drenagem urbana devem seguir as orientações constantes no manual de drenagem da Prefeitura de São Paulo, que orienta para a não transferência e aumento de vazões para as seções de jusante das bacias estudadas. Tendo esta premissa como referência e considerando-se as obras de reforço ou substituição das galerias dos córregos Vila Aurora, verifica-se que, apenas de forma combinada com o reservatório de cabeceira seria possível atender ao critério.

Com a instalação das obras as vazões obtidas foram as indicadas na Tabela 3. Para o cenário com todas as obras a vazão

Tabela 3 – Vazões de pico para os respectivos TRs e cenários simulados

Vazões de pico dos hidrogramas	
Cenários	TR 100 (m³/s)
Pré-obras	90,1
Alternativa 1	68,3
Alternativa 2	68,9
Alternativa 3	68,5

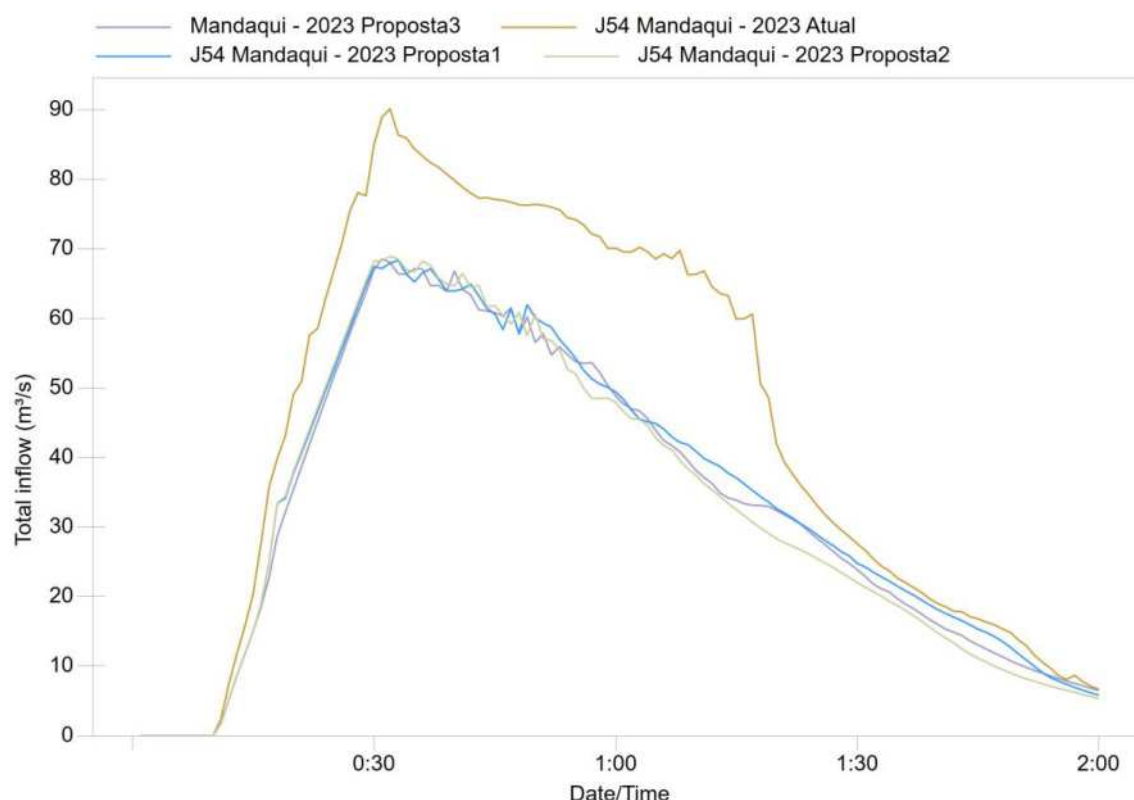


Figura 27 – Hidrogramas resultantes a jusante do córrego Vila Aurora no Mandaqui

Ao avaliar estas condições, fica também estabelecida a conformidade das propostas com aquelas propostas no Caderno de Bacia Hidrográfica do Córrego Mandaqui. Premissa esta, estabelecida com fundamental para a manutenção do planejamento do sistema de drenagem da bacia.

A partir da aprovação destas condições em todas as alternativas apresentadas foi avaliada a escolha da melhor alternativa a partir da comparação entre os custos e quantidade desapropriações e interferências aos moradores no local das intervenções.

A tabela a seguir apresenta de forma compilada a análise de custos para embasamento da escolha das alternativas.

Tabela 4 – Análise de custos das alternativas propostas

Alternativas	Intervenção	Volume (m³)	Custo (R\$/m³)	Desapropriações (R\$)	Custo Obras (R\$)	Custo Total (R\$)
1	Galeria retangular 2 x 2 m	840	4.100,00		3.444.000,00	125.721.788,58
	Galeria retangular 2,6 x 2,6 m	527.28	4.100,00		2.161.848,00	
	Reservatório 1	23000	1.600,00		36.800.000,00	
	Reservatório 2	9000	1.600,00	10.565.700,38	14.400.000,00	
	Reservatório 3	13000	1.600,00	5.550.240,20	20.800.000,00	
	Reservatório 4	20000	1.600,00		32.000.000,00	
2	Galeria retangular 2 x 2 m	840	4.100,00		3.444.000,00	120.171.548,38
	Galeria retangular 2,6 x 2,6 m	527.28	4.100,00		2.161.848,00	
	Reservatório 1	50000	1.600,00		80.000.000,00	
	Reservatório 2	15000	1.600,00	10.565.700,38	24.000.000,00	
3	Galeria retangular 2,6 x 2,6 m	1946.88	4.100,00		7.982.208,00	158.588.785,22
	Reservatório 5	50000	1.600,00	29.590.494,70	80.000.000,00	
	Reservatório 6	15000	1.600,00	17.016.082,52	24.000.000,00	

A partir da avaliação dos custos, foi possível verificar que a alternativa 2 seria aquela com menor valor de implantação, seguida pelas alternativas 1 e 3 respectivamente. Em termos de área com impacto a população local, verifica-se que a alternativa 3 seria a de menor impacto, seguida pelas alternativas 2 e 1 respectivamente.

A alternativa 3 tem o menor impacto pois utiliza uma área fora da malha viária e de praças e serviços à população.

A avaliação e escolha da melhor alternativa se deu atribuindo pesos de 1 a 3, sendo 1 o menor e 3 o a de maior impacto. Portanto ao somar os pesos, a menor soma será a de menor impacto e consequentemente a melhor escolha.

Foi verificado também o impacto da mobilização de canteiros de obra e frentes de trabalho para avaliar quais serão as obras que tenham melhor execução. Como nos demais critérios avaliados a pontuação para menor número de mobilizações necessárias foi de 1, enquanto a com maior número de intervenções terá a pontuação 3.

Portanto, indica-se que o melhor cenário em termos de custo e impactos seria uma combinação da alternativa que tem menor custo, mobilizações de canteiros de obra e menor impacto a população. Atribuindo os pesos na Tabela 5 a seguir, a escolha com melhor pontuação combinada seriam as alternativas 2 e 3. No entanto, seguindo os preceitos da PMSP, foi escolhida a obra com o menor custo de implantação, sendo a alternativa 2 a escolhida.

Tabela 5 – Análise de pontuação das alternativas propostas

Alternativa	Custo	Impacto	Mobilização	Pontuação
1	2	3	3	8
2	1	2	2	5
3	3	1	1	5

9. RECOMENDAÇÕES

Destaca-se que essa avaliação é preliminar e é recomendado que essas alternativas sejam reestudadas quando for contratado o projeto básico/executivo pois, com base nas sondagens da área e no estudo de método executivo, será possível orçar cada uma das alternativas propostas, chegando a um custo mais preciso para a escolha da alternativa mais econômica a adotar.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto de obras propostas pelo estudo tem como objetivo reduzir os impactos das inundações na bacia do córrego Vila Aurora, porém devem ser condizentes com os cenários planejados pelo Caderno de Bacia Hidrográfica do Mandaqui.

Ao analisar o caderno, verifica-se que a bacia do córrego Vila Aurora fica localizada na cabeceira do córrego formador do Mandaqui, mas não está compreendida nas alternativas e análises promovidas pelo documento. Desta forma, considera-se que as alterações previstas neste estudo complementam o material do caderno de bacia, não invalidando as demais análises feitas por ele.

Como citado no relatório, a disponibilidade de área para a execução dos dispositivos de drenagem é um dos fatores limitantes a execução integral das medidas. Por este motivo, a proposta de aproveitamento das áreas definidas para instalação dos reservatórios de retenção na bacia pode ser alterada dependendo da possibilidade ou não de uso.

Portanto, considera-se que possíveis alterações na localização e disposição destas áreas não interfere na proteção definida pelo estudo desde que o volume armazenado seja o mesmo e que sejam consideradas as disposições propostas para os reservatórios a montante ou a jusante da Av. Água Fria.

Considerou-se então a configuração alternativa 2 como a proposta com as melhores características, promovendo o aprofundamento dos reservatórios propostos nas áreas 1 e 2 para que as áreas 3 e 4 não precisem ser alteradas. A área 1 seria aprofundada para aproximadamente 10 m, o que faria esta célula do reservatório ter um volume de aproximadamente 50.000 m³ e proteção de TR 25 anos para a bacia.

A área 2 seria aprofundada para um total de 9,6 m e volume total de 15.000 m³, totalizando assim a proteção de TR 100 anos e volume total de 65.000 m³.

Além destas observações ressalta-se a necessidade de verificar obstruções e restrições de seção nas galerias existentes assim como possíveis interferências ao escoamento, e que as escolhas feitas por este relatório dependem diretamente das condições delas para bem representar a solução.