Sumário Executivo

Características da bacia

A bacia hidrográfica do Arroio Passo das Pedras possui área total de 35,3 km² e é delimitada geograficamente ao norte pelo Rio Gravataí, ao sul pela bacia do Arroio Dilúvio, a oeste pela bacia do Arroio Areia e a leste pela bacia do Arroio Santo Agostinho. A figura 1 apresenta a localização da bacia e seus limites geográficos.

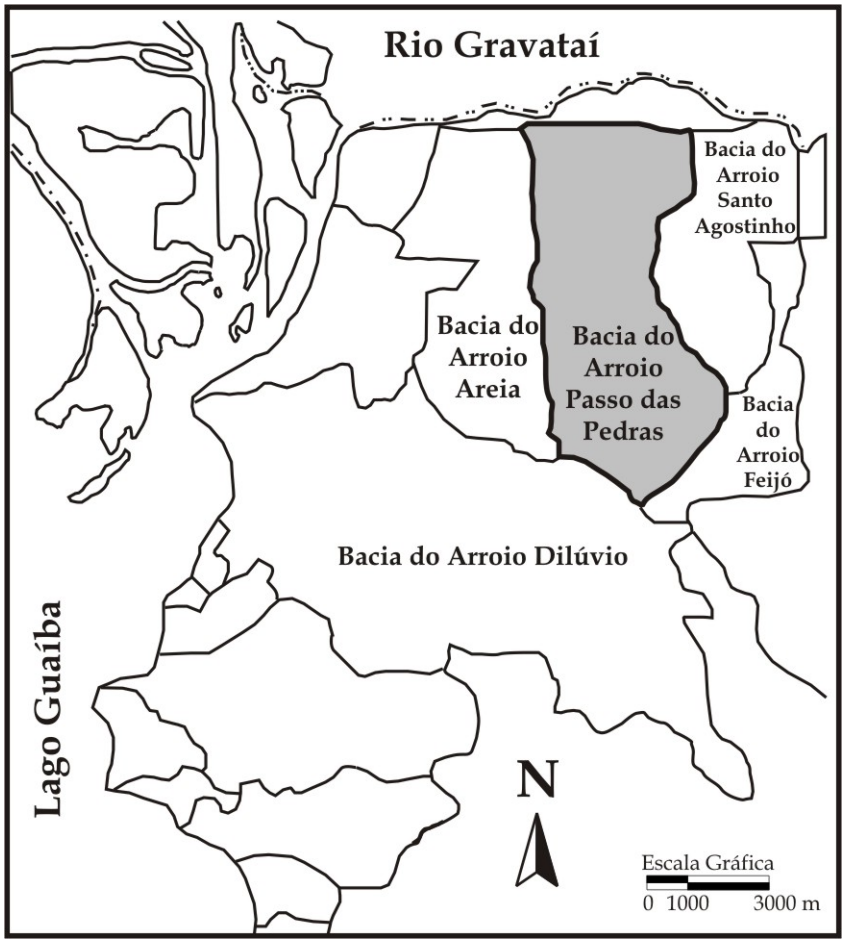

Figura 1 – Localização da bacia Passo das Pedras

A bacia é drenada em seu curso principal pelo Arroio Passo das Pedras, e tem como grande contribuinte o Arroio Passo da Mangueira, que drena a parte oeste da bacia. Nas proximidades do exutório da bacia, o Arroio passo da Mangueira deságua no Arroio Passo das Pedras, correndo a partir daí através de um só canal limitado lateralmente por dois diques, denominados Diques Sarandi.

Caracterização da rede de drenagem

O Arroio Passo das Pedras é canalizado em poucos trechos a montante e seu curso principal se desenvolve pela área mais urbanizada da bacia. Neste trecho, o canal possui seções que variam de 4,0 a 7,0 m de largura por 2,0 a 1,0 m de altura. O Arroio Passo da Mangueira, ao contrário, tem seu curso principal extensivamente canalizado na região de montante, com seções variando de 2,0 m de largura por 2,0 m de altura até 5,0 m de largura e 2,4 m de altura na região mais a jusante da bacia e chega no encontro com o Arroio Passo das Pedras em canal natural. A discretização da rede de macrodrenagem em trechos juntamente com o mapa das ruas é apresentada na figura 2.

Ocupação urbana atual

A maior densificação urbana na bacia encontra-se na região centro-oeste, onde estão localizados os bairros Sarandi, Cristo Redentor, São Sebastião e Jardim Lindóia. A ocupação urbana é predominantemente residencial, exceto junto às principais avenidas, onde há concentração de atividades comerciais.

A atual distribuição da população na bacia foi obtida do Atlas Ambiental de Porto Alegre (Menegat et al., 1998) para o ano de 1998. A figura 3 mostra as densidades populacionais da bacia Passo das Pedras divididas por bairro.

Simulação de Cenários

Os cenários de planejamento da bacia do Arroio Passo das Pedras foram definidos com base na ocupação urbana. Estes cenários são definidos através da densificação urbana prevista para cada bairro da cidade, e assim, para as bacias correspondentes.

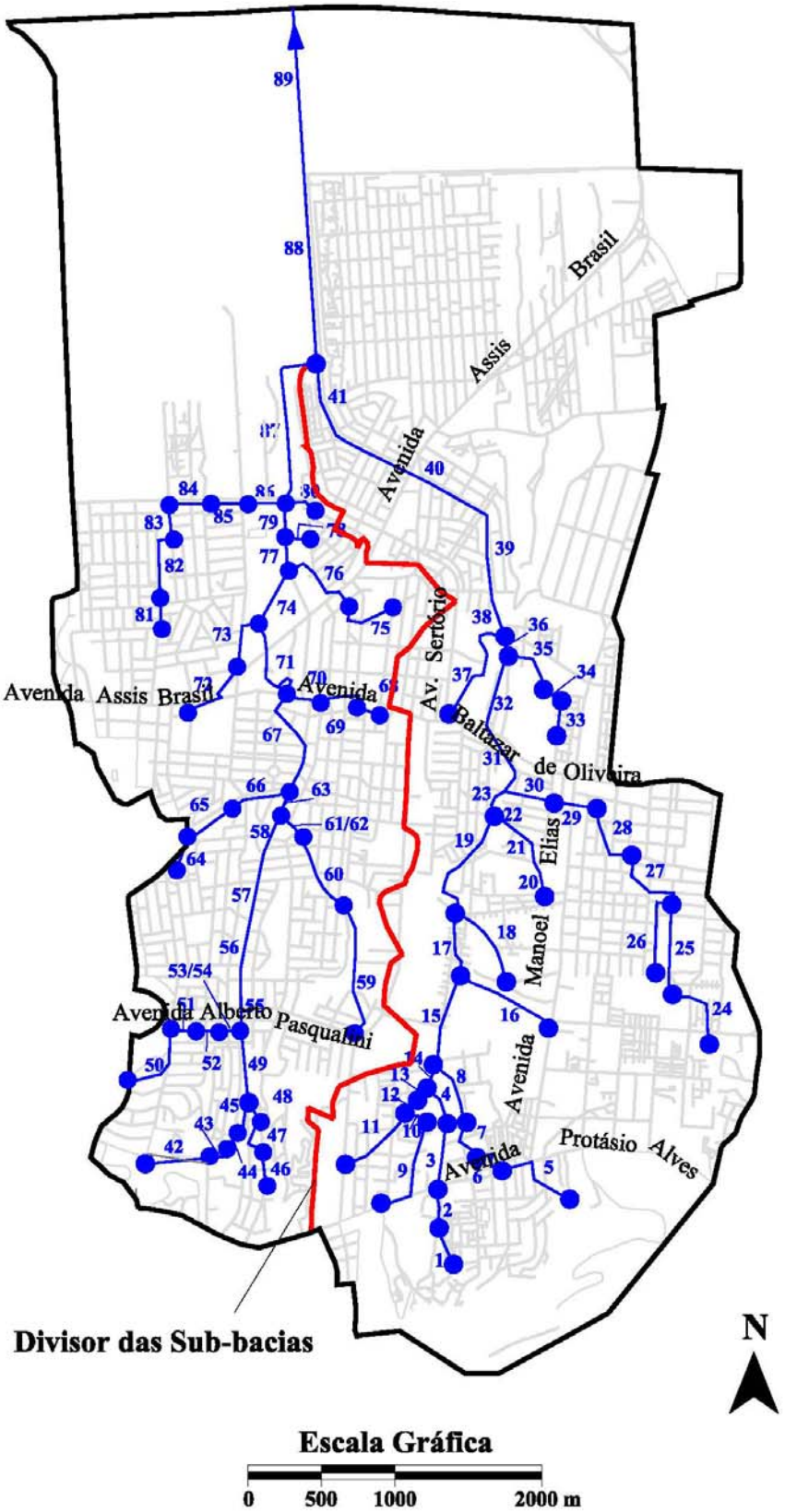

Figura 2 – Discretização da bacia Passo das Pedras e Mangueira

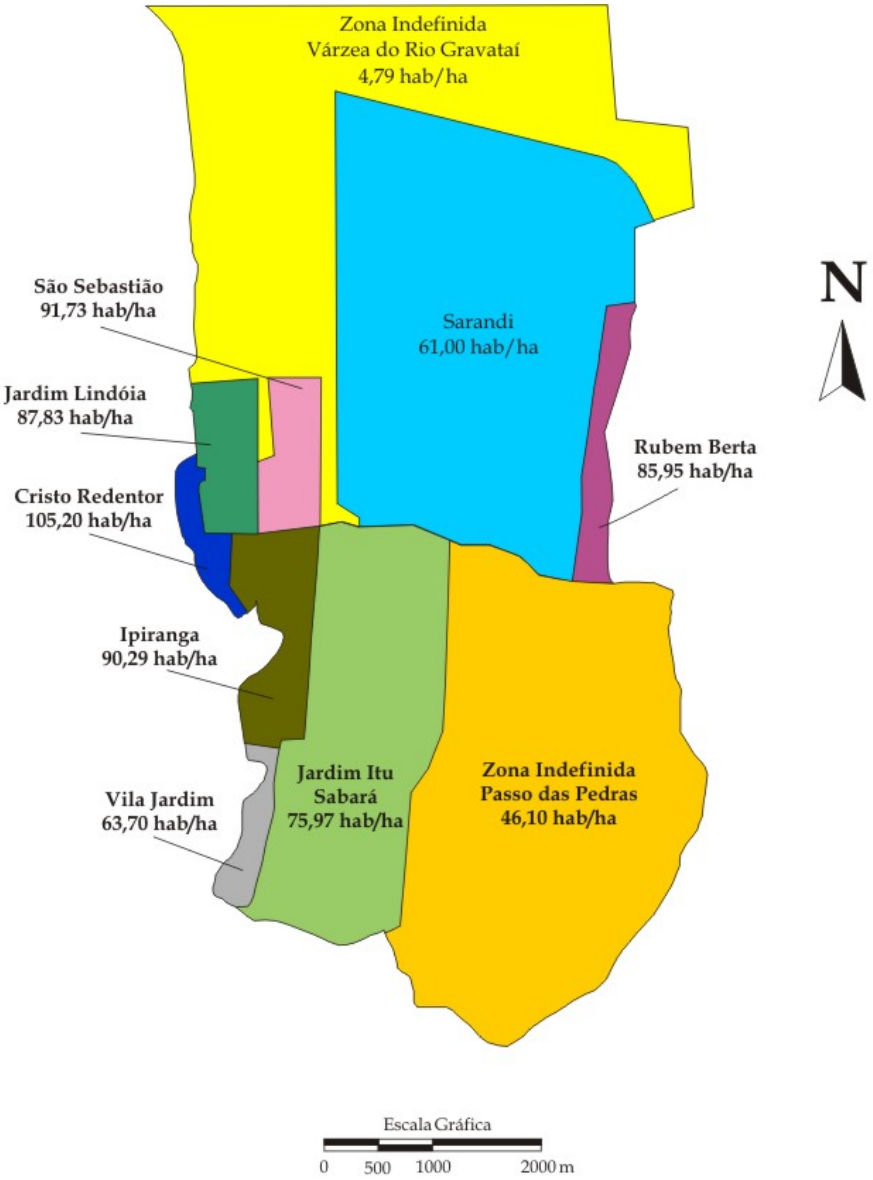

Figura 3 – Densidade habitacional por bairro na bacia Passo das Pedras (hab./ha)

Os cenários utilizados são os seguintes:

Cenário 1 - Atual: condições de urbanização atual, obtidas de acordo com estimativas demográficas e imagens de satélite;

Cenário 2 - Projeções de População pelas Zonas de Tráfego Interno do Município: O Plano Diretor Setorial de Transporte Coletivo do Município de Porto Alegre prevê o desenvolvimento da cidade em zonas de transporte, e dá condições de ocupação para o ano de projeto de 2013;

Cenário 3 - Projeção do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental: O plano de desenvolvimento em vigor na cidade estabelece diferentes condicionantes de ocupação urbana para a cidade e fornece dados de ocupação máxima para 30 anos.

Estimativa dos parâmetros para simulação hidrológica

A determinação dos parâmetros para transformação chuva-vazão foi realizada com base na porcentagem de áreas impermeáveis em cada sub-bacia, juntamente com a informação do tipo de solo da região. A estimativa da porcentagem de áreas impermeáveis foi relacionada com a densidade populacional em cada sub-bacia, através de uma relação desenvolvida para a cidade de Porto Alegre. A determinação dos valores de população por área, por sua vez, foi realizada através dos valores das densidades por bairro, Macrozonas de Transporte e pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental. Para regiões pouco urbanizadas, onde não se deve utilizar essa relação, a determinação dos parâmetros foi feita a partir do tipo e da forma de ocupação do solo.

A porcentagem de área impermeável dentro da sub-bacia pode ser relacionada com a curva número (CN) do Soil Conservation Service (SCS). O SCS fornece um conjunto de valores de CN para diferentes tipos de solo e ocupação em bacias urbanas. Segundo a classificação do SCS (Tucci, 1998), utilizada para a estimativa do escoamento, a parte superior da bacia tem solo tipo C e a parte inferior tipo D.

Parâmetros para o cenário Atual de ocupação

Os valores de CN para o cenário de ocupação atual, bem como o tempo de concentração para todas as sub-bacias, foram determinados com base na ocupação existente. Um resumo dos parâmetros para o cenário atual de ocupação é apresentado na figura 4.

Parâmetros para o cenário de ocupação previsto nas Macrozonas de Transporte

Para este cenário a área impermeável em cada sub-bacia foi determinada seguindo a metodologia anterior, através da projeção da população nas zonas de tráfego. A figura 5 apresenta um mapa com os CNs em cada uma das sub-bacias.

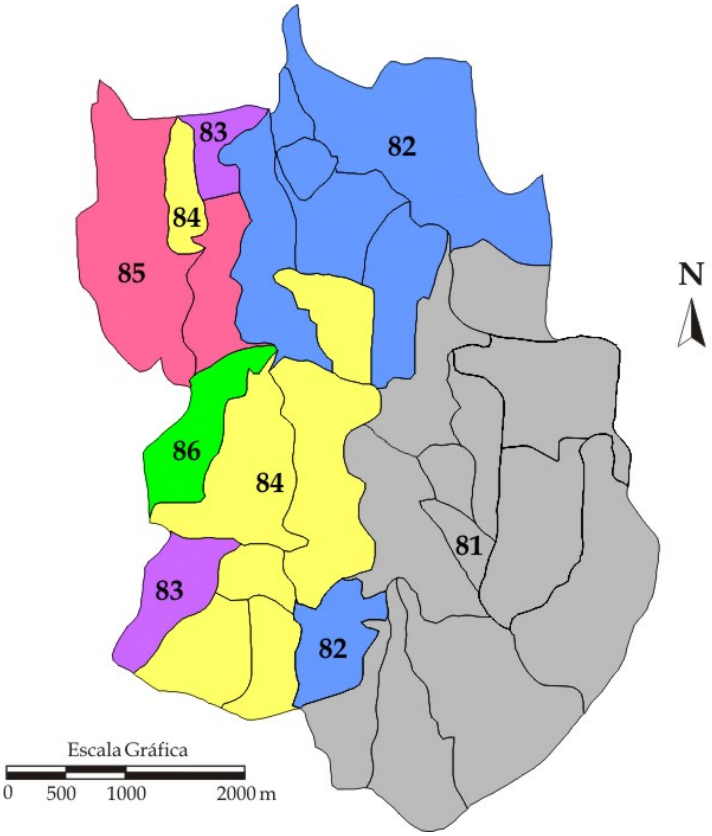

Figura 4 – Valores de CN para as bacias dos Arroios Passo das Pedras e Passo da Mangueira

Parâmetros para o cenário de ocupação previsto no PDDUA

Nesse cenário a área impermeável em cada sub-bacia foi novamente estimada de acordo com a metodologia anteriormente apresentada, através da densificação máxima prevista no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre. A figura 6 mostra o mapa dos CNs nas sub-bacias.

Avaliação das condições das redes de drenagem existentes

Definidos os parâmetros necessários, avaliou-se o comportamento da rede de drenagem existente frente aos cenários propostos. Na seqüência são apresentados os resultados obtidos das simulações para as sub-bacias Passo das Pedras e Passo da Mangueira, considerando a rede de drenagem atualmente implantada.

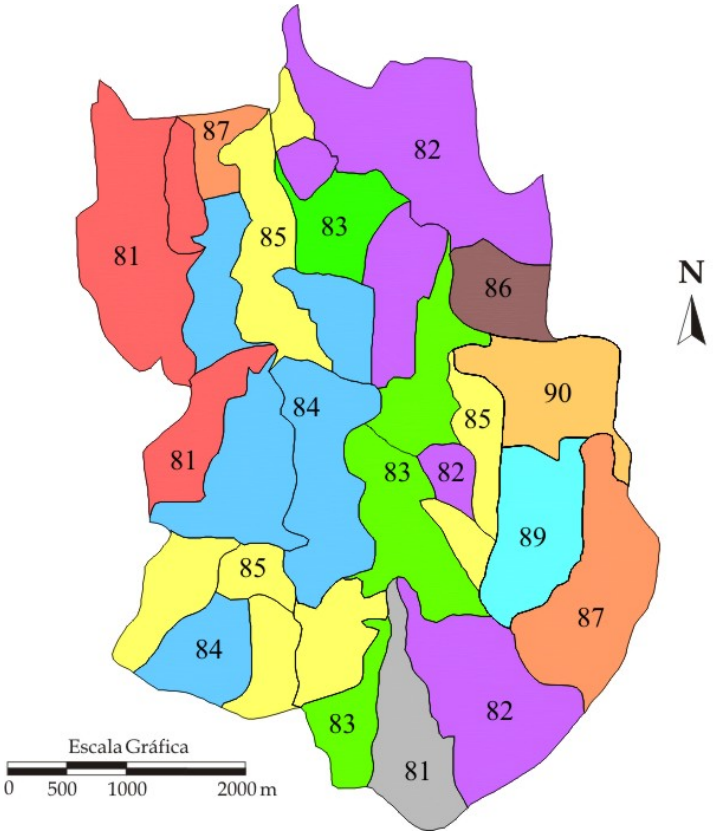

Figura 5 – Valores dos CNs para o cenário das macrozonas de transporte

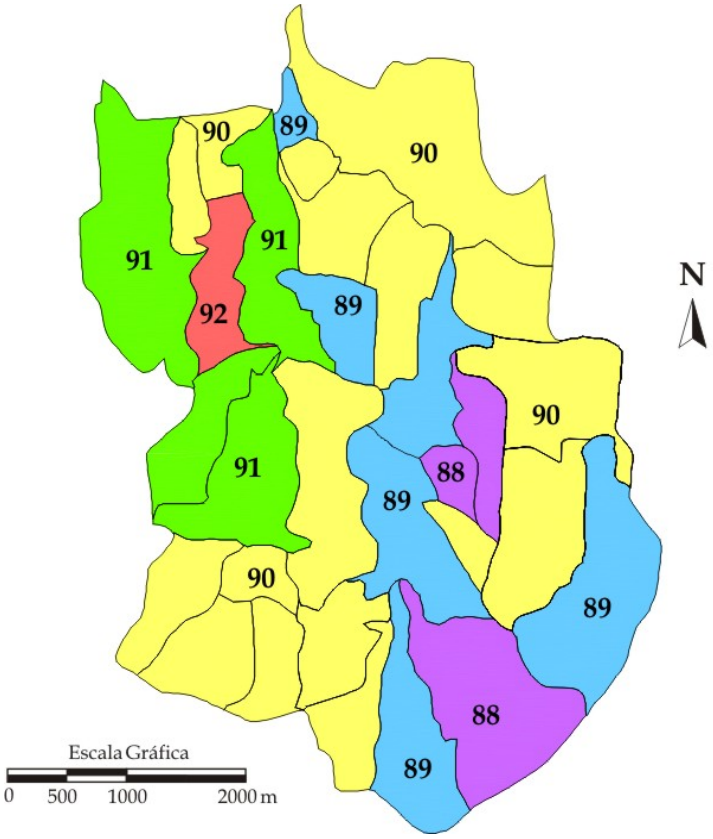

Figura 6 - Valores dos CNs para o cenário PDDUA

Sub-bacia do Arroio Passo das Pedras

Para o cenário atual de ocupação, verificou-se a existência de alagamentos em pontos distribuídos na bacia para chuvas freqüentes (2 anos de TR). Para estas chuvas, foram detectados trechos em canal aberto onde o mesmo não teve capacidade de absorver o escoamento proveniente das áreas laterais, ou ainda, não teve capacidade para suportar os volumes provenientes de montante. Desta forma, existem trechos em canal aberto, onde a água pode estar extravasando pela calha principal (provocando alagamentos localizados) ou dificultando o escoamento da água das regiões de montante.

Ainda para a ocupação atual, verificou-se que para uma chuva com 5 anos de TR são detectados trechos críticos em locais próximos aos identificados para uma chuva com 2 anos de TR. Já para 10 anos, foram identificadas inundações em redes junto à cabeceira da bacia e no canal principal, junto à Av. Sarandi. Na figura 7 é apresentado um mapa de inundações na sub-bacia para o cenário atual de ocupação, para chuvas com tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos. Não são apresentados os locais críticos para chuvas com recorrências maiores a estas, pois se admite que para eventos com TR superiores a 10 anos exista escoamento nas ruas.

Para o cenário de ocupação previsto nas Macrozonas de Transporte foi significativo o número de trechos identificados com problemas. Em alguns trechos algumas regiões apresentaram problemas generalizados já para uma chuva com 2 anos de TR.

A ocupação máxima prevista no PDDUA levou praticamente todos os trechos da rede de drenagem ao comprometimento, mesmo para uma chuva com 2 anos de TR. No entanto, sabe-se que dificilmente tal situação chegaria a ocorrer, visto que normalmente as redes de drenagem vão sendo ampliadas para comportar os excessos gerados pelo crescimento da população.

Sub-bacia do Arroio Passo da Mangueira

Para o cenário atual de ocupação verificou-se que, há um grande número de trechos da rede de drenagem que já estão comprometidos para chuvas freqüentes com 2 anos de TR. A região identificada como um local mais crítico foi a rede junto à Av. Sertório, onde todos os condutos não têm capacidade suficiente.

Ainda para a atual urbanização, a chuva com 5 anos de TR comprometeu a entrada da água em alguns pontos isolados da rede de drenagem. Para a chuva com TR de 2 anos principalmente os condutos na cabeceira da bacia não têm capacidade. Seguindo o mesmo critério utilizado na elaboração do mapa de inundações da sub-bacia do Arroio Passo das Pedras, é apresentado na figura 8 o mapa dos locais críticos na sub-bacia do Arroio Passo da Mangueira.

Para o cenário de ocupação previsto nas Macrozonas de Transporte, não se identificou aumentos consideráveis no escoamento, visto que a urbanização nesta sub-bacia já está praticamente consolidada. Desta forma, o funcionamento da rede de drenagem, frente à chuva com diferentes tempos de retorno foi muito semelhante ao obtido para o cenário de ocupação atual.

O cenário de ocupação máxima previsto no PDDUA faz com que praticamente todas as redes de drenagem localizadas em extremos da sub-bacia apresentem capacidade insuficiente para 2 anos de TR. Além disso, toda drenagem localizada em regiões planas da bacia apresenta-se completamente inundada para esta chuva.

Para o cenário previsto no PDDUA e chuvas com 5 ou 10 anos de TR, todas as redes de drenagem e canais abertos não possuem capacidade suficiente para escoar os volumes que chegam.

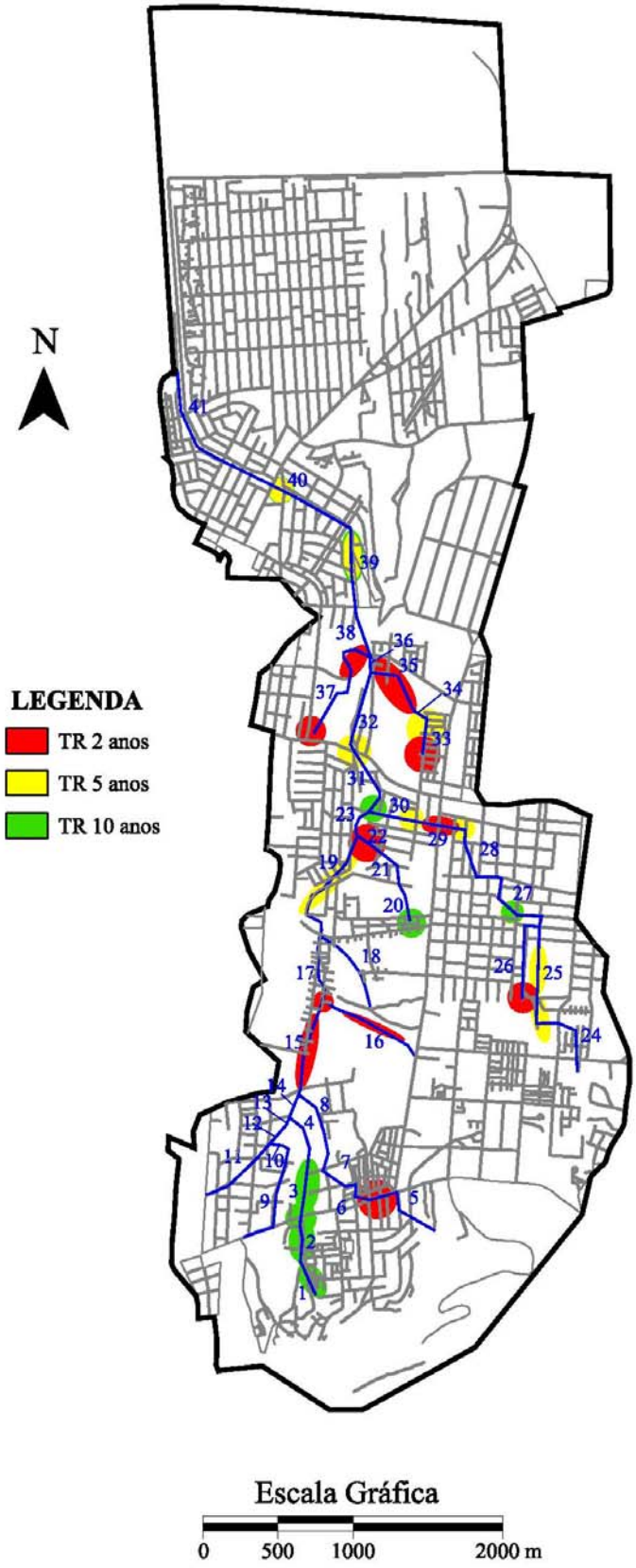

Figura 7 – Pontos potencialmente inundáveis – Sub-bacia do Arroio Passo das Pedras

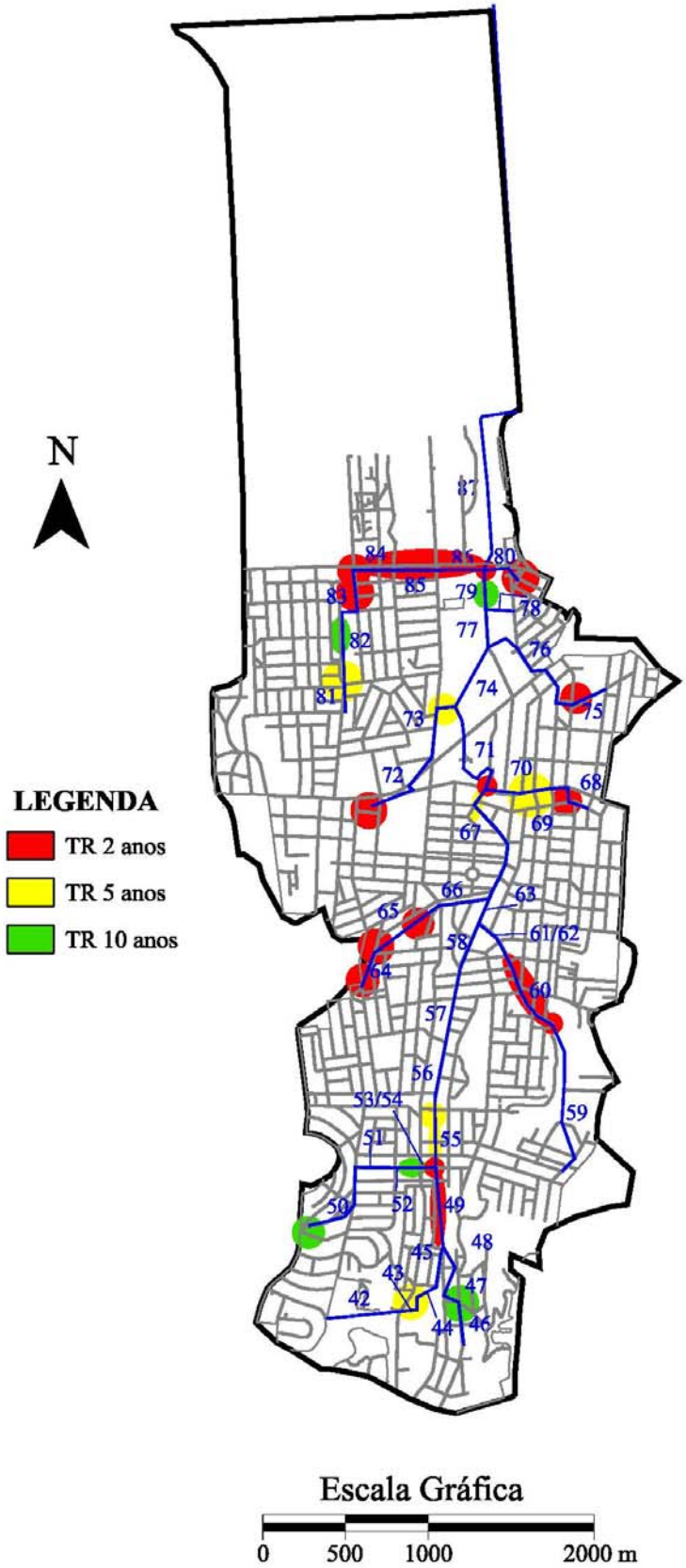

Figura 8 – Pontos potencialmente inundáveis – Sub-bacia Arroio Passo da Mangueira

Alternativas de controle

Conforme apresentado no item anterior, existem várias regiões na bacia onde a capacidade de escoamento das redes de drenagem, atualmente implantadas, já é insuficiente para uma chuva com 2 anos de tempo de retorno. A falta de capacidade torna-se mais expressiva, evidentemente, quando analisados os cenários de ocupação previstos nas macrozonas de transporte e PDDUA. Especialmente para o PDDUA foram identificados acréscimos de vazão de até 80% com relação ao cenário atual. As regiões que atualmente encontram-se menos povoadas, mas que no entanto o PDDUA prevê forte densificação, são os locais mais críticos sob o ponto de vista de falta de capacidade das redes de drenagem.

As alternativas propostas contemplam desde a medida tradicionalmente adotada, ou seja, a ampliação das redes de drenagem, até uma alternativa mais sustentável sob o ponto de vista de bacia, que é a distribuição de reservatórios de detenção.

Para tal estudo, considerou-se que as redes de macrodrenagem devem ser dimensionadas de forma a não permitir alagamentos para uma chuva com até 10 anos de TR. Da mesma forma, os reservatórios foram dimensionados para não extravasarem para uma chuva com esta mesma recorrência.

Com relação ao cenário escolhido, a análise das alternativas propostas foi realizada em duas fases: a primeira visando atender às necessidades da bacia caso o cenário previsto pelas Macrozonas de Transporte seja concretizado; e a segunda objetivando atender a demanda conseqüente da ocupação prevista no PDDUA. A seguir são apresentadas as medidas de controle propostas, estudadas de forma integrada na bacia, buscando soluções para os problemas identificados no item anterior.

Alternativa I: Ampliação da rede de drenagem com capacidade insuficiente

Nesta alternativa considerou-se que todos os trechos com falta de capacidade seriam dimensionados de forma a permitir o adequado escoamento, eliminando assim os alagamentos detectados na etapa anterior.

A ampliação foi realizada, considerando que sejam implantadas redes de drenagem (tubos e galerias) com seções atualmente utilizadas pelo DEP. Para facilitar uma análise econômica posterior foram sempre adotadas as seções mais econômicas.

As figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, os mapas com os trechos da rede a serem ampliados para os cenários de ocupação previsto nas Macrozonas de Transporte e no PDDUA. Nos mapas, os trechos a serem ampliados são apresentados na cor vermelha.

Alternativa II: Ampliação da rede de drenagem com capacidade insuficiente e implantação de reservatórios de detenção

Os reservatórios de detenção são uma medida estrutural, utilizada para controlar a vazão de pico das enchentes através do armazenamento de volumes não comportados pela rede, em áreas devidamente projetadas. Entretanto, mesmo com a utilização dos reservatórios, deve-se considerar que, principalmente os trechos localizados nas regiões de cabeceira das bacias necessitarão ser ampliados. Além dos trechos mencionados, trechos a jusante dos reservatórios também deverão ser ampliados, quando necessário.

Para este estudo foram utilizados reservatórios do tipo *off-line*. Estes reservatórios não entram em funcionamento para todo e qualquer evento, mas para determinados eventos, definidos em projeto. O funcionamento deste tipo de reservatório é simples: existe uma estrutura de desvio da vazão, que aqui será chamada de *by-pass*; a função do *by-pass* é permitir que a água continue escoando pela rede de drenagem até uma determinada vazão; a partir deste pico de vazão, o restante da água é direcionada para o reservatório.

A partir de decisão conjunta com o DEP, decidiu-se que o critério utilizado para a freqüência de inundação dos reservatórios seria uma chuva com 6 meses de TR. Desta forma, admite-se que os reservatórios terão água 2 vezes ao ano, exceto quando haja um condicionante climático desfavorável.

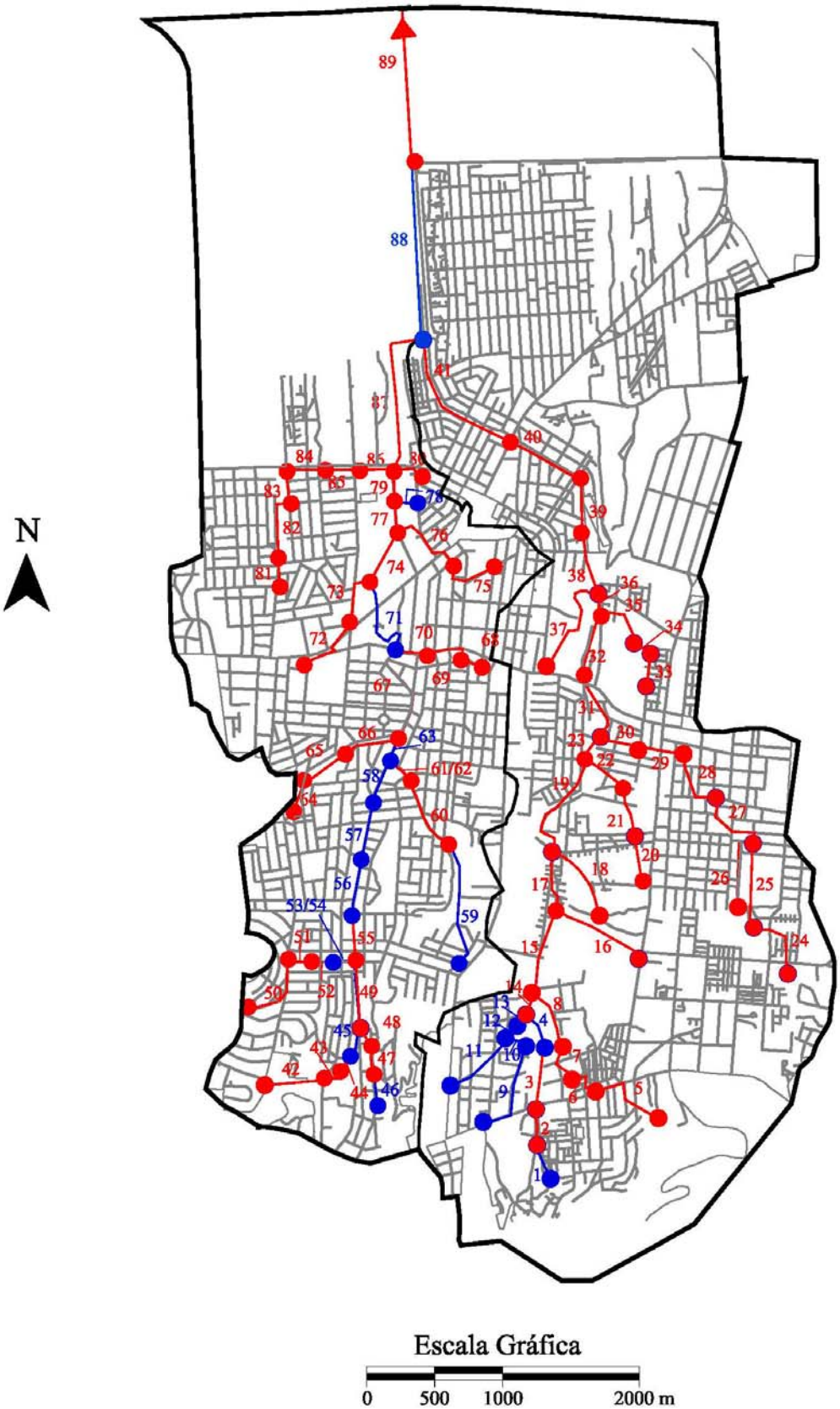

Figura 9 – Trechos a serem ampliados para o cenário previsto nas Macrozonas de Transporte

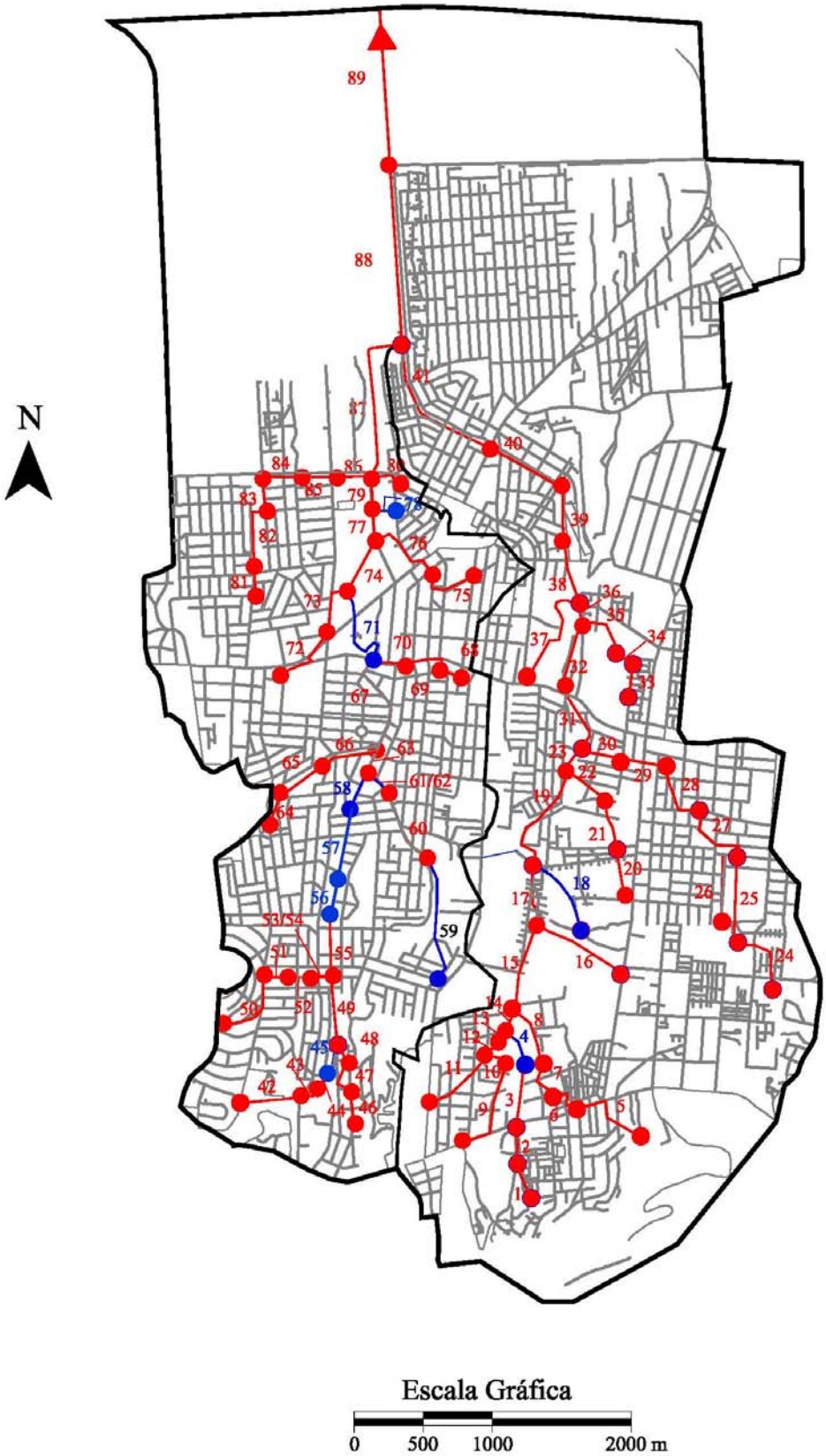

Figura 10 – Trechos a serem ampliados para o cenário previsto no PDDUA

Na análise da implantação dos reservatórios foram verificadas a viabilidade de localização e viabilidade hidráulica (cotas de entrada e estruturas hidráulicas). Não foram feitos projetos detalhados dos mesmos, visto que **a implantação de tais estruturas deve ser antecedida de um projeto executivo**. Portanto, a dimensão básica do reservatório que deve ser necessariamente respeitada para manter as características de amortecimento, é o volume. As outras dimensões podem ser alteradas, sujeitas a verificações de viabilidade e comportamento hidráulico.

Para implantação dos reservatórios deu-se preferência à utilização das áreas públicas não consolidadas ou potencialmente públicas (que poderiam ser desapropriadas a um baixo custo). A escolha dos locais baseou-se na localização estratégica dentro da bacia, visando a otimização da reservação. Na figura 11 é apresentado um mapa dos locais públicos escolhidos para a implantação dos reservatórios.

- ***Avaliação para o cenário de ocupação previsto nas Macrozonas de Transporte***

A utilização dos reservatórios de detenção não acaba com a necessidade de ampliação de alguns trechos, principalmente os que fazem a drenagem convergir para as redes maiores. Desta forma, durante as simulações, foram ampliados os trechos que comprometiam o funcionamento adequado da rede de drenagem e que em alguns casos impediam até mesmo que a água chegasse ao reservatório proposto.

Mesmo utilizando a máxima capacidade de reservação nos locais disponíveis, houve situações onde foi praticamente impossível controlar todo o acréscimo de vazão para este cenário. Assim, ocorreram situações onde algumas redes de drenagem a jusante do reservatório necessitaram ampliações para comportarem a vazão de *by-pass*. Esta situação foi verificada principalmente na sub-bacia do Arroio Passo das Pedras. A figura 12 apresenta os trechos a serem ampliados para o cenário previsto nas Macrozonas de Transporte, na alternativa II.

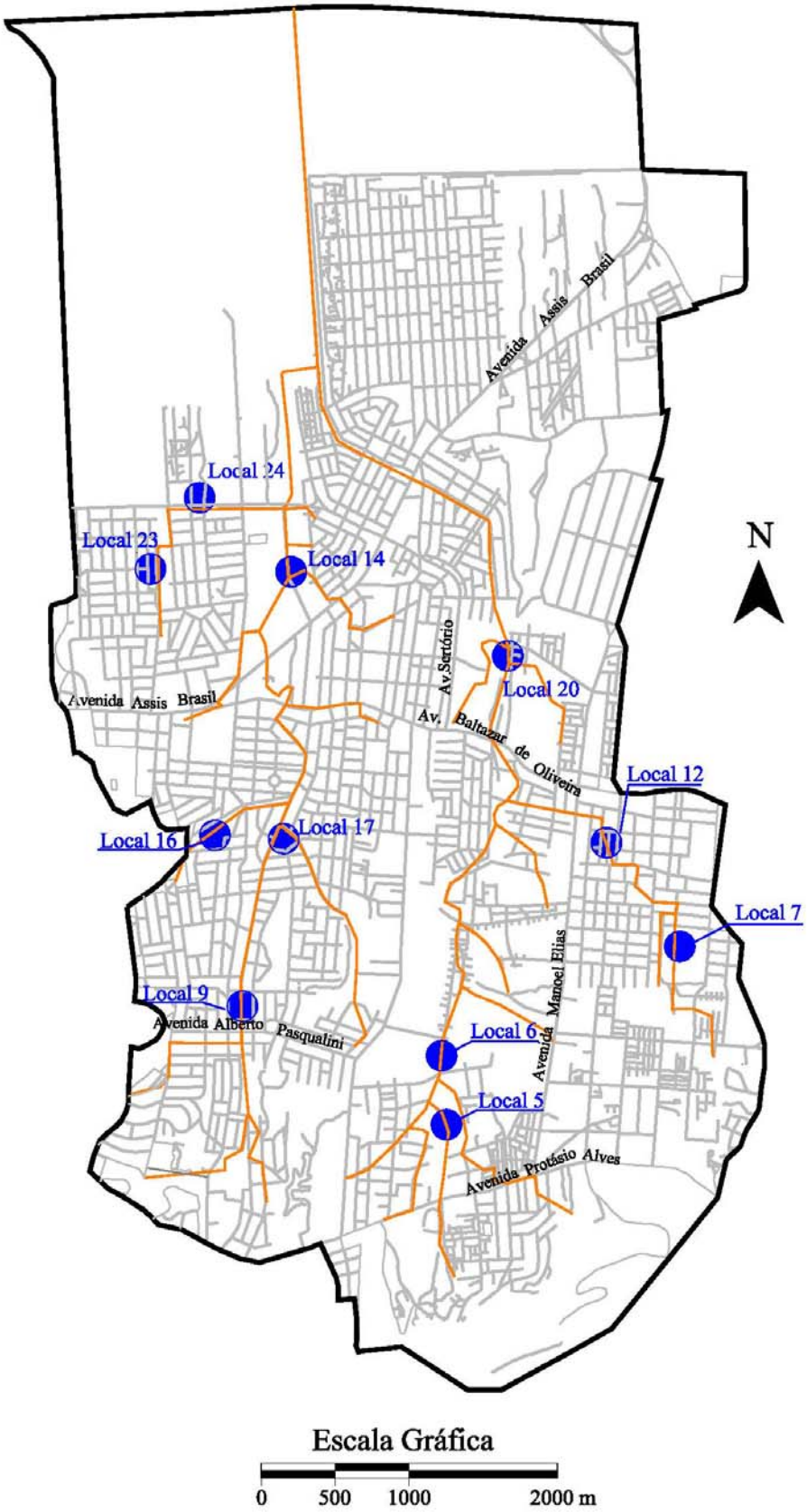

Figura 11 – Locais públicos escolhidos para implantação dos reservatórios

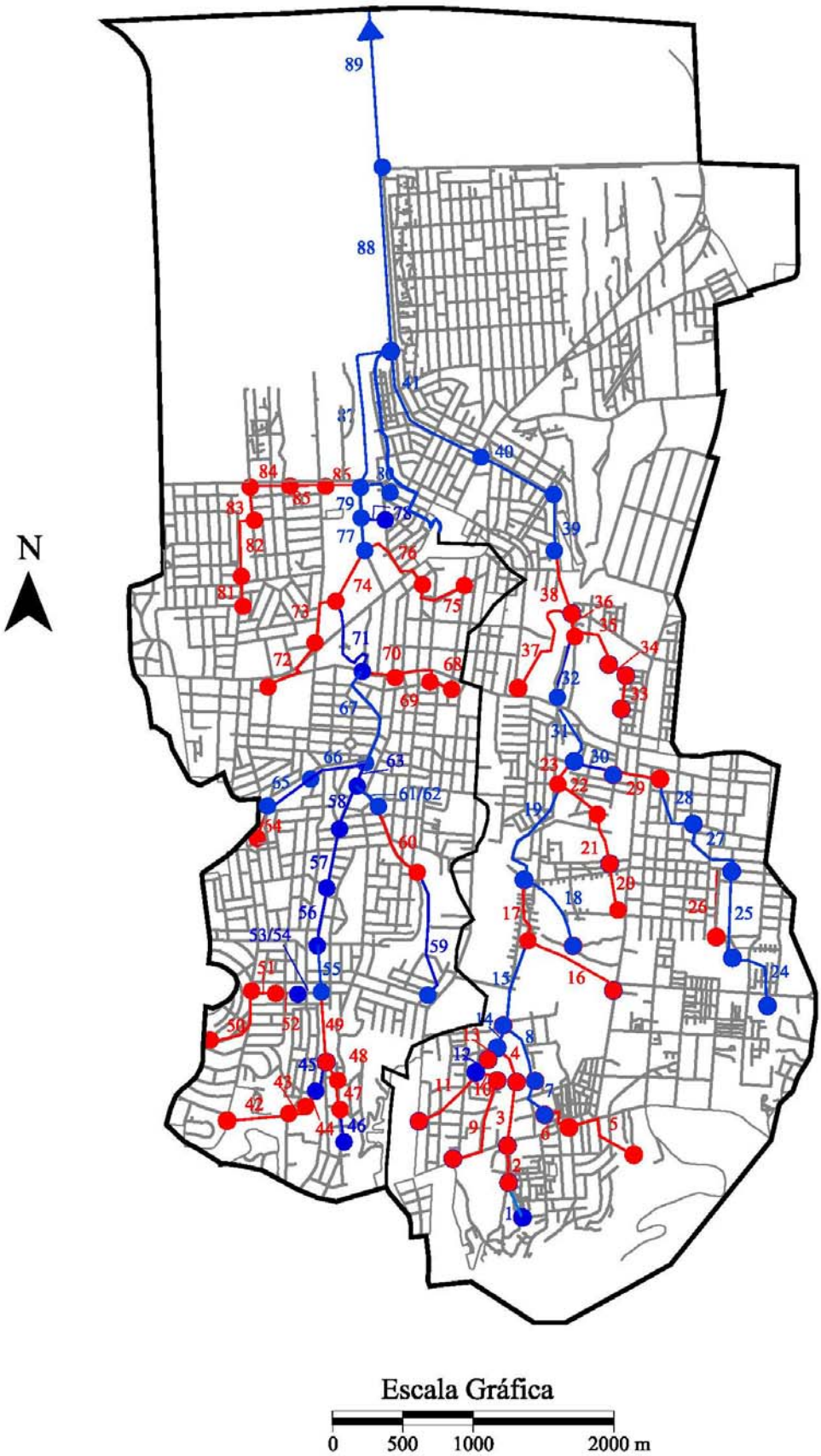

Figura 12 – Trechos a serem ampliados para o cenário previsto nas Macrozonas de Transporte

- ***Avaliação para o cenário de ocupação previsto no PDDUA***

Assim como para o cenário de ocupação previsto nas macrozonas de transporte, a utilização dos reservatórios de detenção não isentou a necessidade de ampliação de alguns trechos da rede.

Por tratar-se de um cenário com previsão de ocupação mais intensa que a prevista nas macrozonas, os reservatórios resultaram em estruturas com volume maior para armazenamento. No entanto, mesmo utilizando todo o espaço disponível, foi praticamente impossível controlar totalmente os acréscimos de vazão. Este problema é decorrente da atual falta de capacidade dos condutos, onde se verificou que mesmo para a urbanização existente há falta de capacidade. A figura 13 apresenta os trechos a serem ampliados para o cenário previsto no PDDUA, na alternativa II.

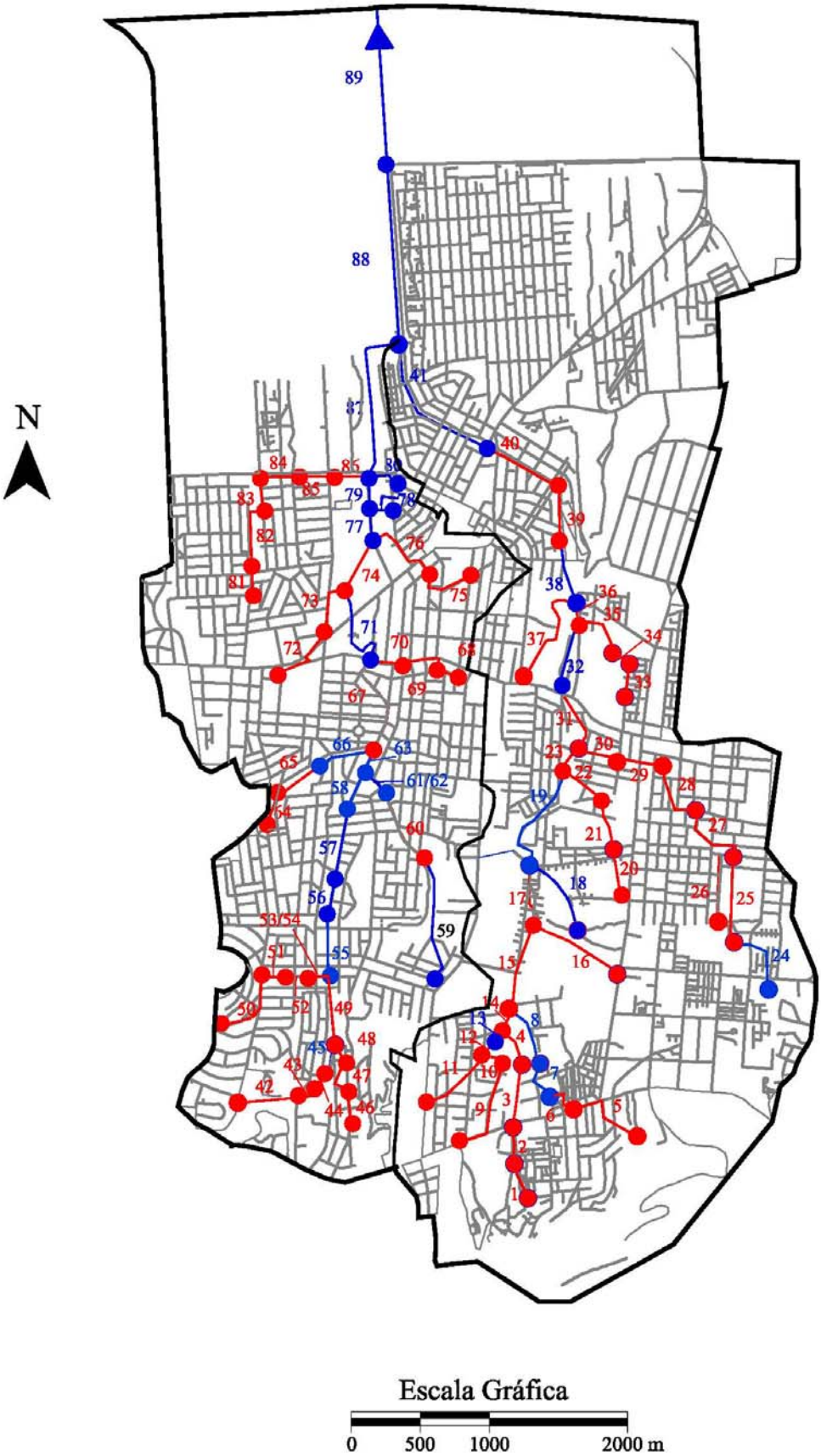

Figura 13 – Trechos a serem ampliados para o cenário previsto no PDDUA

Avaliação econômica das alternativas

Neste item são apresentadas as avaliações realizadas para quantificar os gastos envolvidos com a implantação das medidas de controle analisadas para os cenários considerados.

Os itens, considerados nesta avaliação de custos são citados a seguir:

- Remoção de pavimento;
- Escavação;
- Remoção de material escavado;
- Escoramento;
- Concreto magro;
- Radier;
- Concreto armado;
- Fornecimento;
- Assentamento;
- Reaterro;
- Poços-de-visita;
- Bocas-de-lobo;
- Meio-fio.

Os custos de escavação foram calculados a partir das cotas do terreno, considerando que as declividades dos trechos e as cotas de fundo fossem mantidas. Embora esta seja uma consideração simplificada, que pode não representar a situação mais adequada em um projeto executivo, foi utilizada para evitar o emprego de uma profundidade constante de escavação.

Como na bacia existe uma grande extensão onde os arroios não estão canalizados, principalmente na sub-bacia do Arroio Passo das Pedras, considerou-se que haveria espaço disponível para alargamento da seção do arroio, quando necessário. Nos trechos de canais abertos, considerou-se que as ampliações manteriam a condição de canal aberto, porém com fundo e paredes revestidos. Estas estimativas de custo, porém, não consideram gastos relativos às desapropriações e remoção das famílias que ocupam as margens dos arroios.

Por fim, é importante salientar que os custos determinados correspondem a uma estimativa, servindo apenas para uma avaliação preliminar em termos de comparação de alternativas, uma vez que não é possível estimar custos envolvidos com o remanejo de redes de drenagem, soluções para interferências, desassoreamento e desobstruções.

Custo de implementação da Alternativa I

A estimativa de custos para esta alternativa foi realizada considerando que seriam ampliadas as redes de drenagem de forma a permitir o adequado escoamento da vazão, não incluindo os custos relacionados com problemas decorrentes do aumento da vazão a jusante.

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das análises realizadas para os cenários de ocupação previsto nas Macrozonas de Transporte e no PDDUA.

Tabela 1 – Estimativa de custos para Alternativa I – Cenário: Macrozonas de Transporte

Local da Obra	Custo Parcial (em R$ 1.000)
Arroio Passo das Pedras	33.015,9
Arroio Passo da Mangueira	22.351,0
Canal – dique Sarandi	22.612,7
Custo Total	**77.979,6**

Tabela 2 – Estimativa de custos para Alternativa I – Cenário: PDDUA

Local da Obra	Custo Parcial (em R$ 1.000)
Arroio Passo das Pedras	40.881,7
Arroio Passo da Mangueira	28.745,0
Canal – dique Sarandi	37.138,3
Custo Total	**106.765,0**

A alternativa tradicional de ampliação das redes de drenagem gera um problema, não quantificado nesta fase preliminar, que são as obras não relacionadas com drenagem, mas sim com outros fatores externos, detectáveis somente em uma fase posterior, já no projeto executivo.

A estimativa de custos restringiu-se basicamente em quantificar as despesas com a

implementação de tubos e galerias com capacidade necessária. Não foram considerados, portanto, aspectos como a disponibilidade de espaço físico para a colocação de redes maiores ou ainda a necessidade de intervenção em residências que se encontram sobre os coletores de fundo.

Custo de implementação da Alternativa II

A estimativa dos custos foi realizada considerando que os reservatórios fossem implantados, e que todas as redes de drenagem com capacidade insuficiente seriam ampliadas, possibilitando a adequada drenagem.

Nas tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados das análises realizadas para os cenários de ocupação previstos nas Macrozonas de Transporte e no PDDUA. O custo do m^3 de reservação em locais abertos foi estimado em R$ 100,00 (cem reais). Já para os reservatórios executados com fundo e taludes revestidos este custo foi de R$ 149,00 (cento e quarenta e nove reais).

Tabela 3 – Estimativa de custos em R$ 1.000 para Alternativa II – Cenário: Macrozonas

Local da Obra	Custo Redes de Drenagem	Custo Reservação 1ª câmara	Custo Reservação 2ª câmara	Custo Parcial
Passo das Pedras				
Reservatório Local 5		660,0		660,0
Reservatório Local 6		1.042,7	1.120,0	2.162,7
Reservatório Local 7		1.206,5	810,0	2.016,5
Reservatório Local 12		268,1	840,0	1.108,1
Reservatório Local 20		1.295,9	1.885,0	3.180,9
Sub-total	13.254,6			9.128,2
Passo da Mangueira				
Reservatório Local 9		279,3	812,5	1.091,8
Reservatório Local 16		223,4	250,0	473,4
Reservatório Local 17		166,8	588,0	754,8
Reservatório Local 24		297,9	400,0	697,9
Sub-total	10.648,6			3.017,9
Canal – dique Sarandi	0			
Custo Total			**36.049,3**	

Tabela 4 – Estimativa de custos para Alternativa II – Cenário: PDDUA

Local da Obra	Custo Redes de Drenagem	Custo Reservação 1ª câmara	Custo Reservação 2ª câmara	Custo Parcial
Passo das Pedras				
Reservatório Local 5		1.210,0		1.210,0
Reservatório Local 6		1.549,1	1.430,0	2.979,1
Reservatório Local 7		573,5	825,0	1.398,5
Reservatório Local 12		446,9	720,0	1.166,9
Reservatório Local 20		2.591,8	1.450,0	4.041,8
Sub-total	24.494,5			10.796,3
Passo da Mangueira				
Reservatório Local 9		1.638,0		1.638,0
Reservatório Local 16		245,8	352,0	597,8
Reservatório Local 17		595,8	960,0	1.555,8
Reservatório Local 24		448,5	600,0	1.048,5
Sub-total	15.012,7			4.840,10
Canal – dique Sarandi				
Custo Total			**55.143,6**	

Conforme apresentado nas tabelas acima, a adoção da alternativa de controle II é em média 100% mais barata que a alternativa I. Portanto é economicamente recomendada. Além dos custos quantificados neste estudo, existem ainda todos os possíveis intervenientes físicos na fase de ampliação das redes de drenagem, principalmente na Alternativa I.

Com relação aos cenários de planejamento, as Macrozonas de Transporte tem um custo aproximadamente 53% inferior ao PDDUA. No entanto, o horizonte temporal deste cenário é mais curto.

A sub-bacia do Arroio Passo das Pedras apresentou os maiores custos para as duas alternativas analisadas e os dois cenários estudados. A principal razão desse fato deve-se ao grande número de locais ainda disponíveis para a ocupação e as redes de drenagem já estarem atualmente comprometidas. Na região do Arroio Passo da Mangueira os dois cenários analisados não prevêem forte acréscimo de ocupação, visto que a região encontra-se bem urbanizada e que possivelmente as redes de drenagem do local já venham sendo reparadas e devidamente ampliadas ao longo do tempo.