



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ICB  
ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

MATEUS HENRIQUE DE PAULO SOUZA

ESTIMATIVAS DE VOLUMES DE SEDIMENTOS APORTADOS PARA O  
RESERVATÓRIO DA PAMPULHA EM PERÍODOS COMPREENDIDOS  
ENTRE NOVEMBRO DE 2012 E NOVEMBRO DE 2014

BELO HORIZONTE  
2016

MATEUS HENRIQUE DE PAULO SOUZA

ESTIMATIVAS DE VOLUMES DE SEDIMENTOS APORTADOS PARA O  
RESERVATÓRIO DA PAMPULHA EM PERÍODOS COMPREENDIDOS  
ENTRE NOVEMBRO DE 2012 E NOVEMBRO DE 2014

Trabalho apresentado a banca da Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG como requisito para obtenção do título de conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Motta Pinto Coelho.

BELO HORIZONTE  
2016

**MATEUS HENRIQUE DE PAULO SOUZA**

**ESTIMATIVAS DE VOLUMES DE SEDIMENTOS APORTADOS PARA O  
RESERVATÓRIO DA PAMPULHA EM PERÍODOS COMPREENDIDOS  
ENTRE NOVEMBRO DE 2012 E NOVEMBRO DE 2014**

Trabalho apresentado a banca da Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG como requisito para obtenção do título de conclusão do curso.

Data da Defesa: 26/08/2016

Nota Obtida: 93

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Motta Pinto Coelho  
Universidade Federal de Minas Gerais

---

Examinador: Prof. Dr. Luiz Alberto Sáenz Isla  
Universidade Federal de Minas Gerais

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos que me apoiaram na criação do tema e na união dos fragmentos desta monografia. Oriundo de um trabalho aplicado à consultoria vinculada às ações de revitalização da Lagoa da Pampulha, o assunto foi despertado durante a minha coordenação dos diversos programas e estudos ambientais desenvolvidos pela Consominas Engenharia Ltda., com destaque aos estudos batimétricos realizados neste período. Portanto, devo agradecer aos gestores da equipe pela oportunidade de assumir estes trabalhos, quando prometi conciliar o meu ofício com os estudos acadêmicos, vislumbrando abrir um caminho para a produção científica.

Agradeço à minha mãe Leninha, meu pai Zé Alves, minha irmã Pipi, amigos e amigas, Naná e família, por compreenderem as minhas ausências e ainda potencializarem a minha dedicação, afinal, este trabalho foi concebido durante uma experiência amazônica.

Agradeço à equipe da ERG Engenharia Ltda., que me permitiu conciliar a rotina dos trabalhos no norte do país com a frequência quinzenal nas aulas durante toda a especialização. Isto significa que este trabalho foi desenvolvido entre a beira da mata, no olhar para a majestosidade dos ambientes aquáticos amazônicos, atravessando pontes aéreas às vezes tenebrosas, até o ambiente metropolitano belorizontino, no olhar para as pressões que a cidade provoca nos recursos hídricos.

Agradeço ao orientador Dr. Ricardo Motta Pinto Coelho e ao examinador Dr. Luis Alberto Saenz Isla, que me deram total liberdade nas abordagens deste trabalho e aos demais companheiros acadêmicos que compartilharam as elucubrações sobre o legado de uma lagoa urbana viva.

## RESUMO

SOUZA, M. H. P. **Estimativas de volumes de sedimentos aportados para o Reservatório da Pampulha em períodos compreendidos entre novembro de 2012 e novembro de 2014.** Monografia (Pós-Graduação em Gerenciamento de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

O crescimento populacional e econômico somado às condições ambientais de cada região podem gerar inúmeros problemas relacionados à água, como a restrição de sua disponibilidade e a poluição das águas por carência de saneamento. Torna-se necessário a otimização da gestão dos recursos hídricos, mediante um planejamento integrado que envolva as diversas esferas do poder público, privado e sociedade civil. A gestão dos rios, lagos e reservatórios deve ser concebida no âmbito de sua bacia hidrográfica, sendo esta a unidade de planejamento onde estão inseridos. Os reservatórios situados em zonas urbanas estão particularmente sujeitos a sofrerem diversos tipos de impactos antrópicos e o reservatório da Pampulha, localizado em Belo Horizonte, não foge a essa regra (PINTO-COELHO et al., 2012). Nos últimos anos, a Prefeitura de Belo Horizonte se comprometeu com um amplo projeto de recuperação e revitalização deste reservatório, cujas ações envolvem, dentre outras, o desassoreamento da represa. Por meio de revisões bibliográficas e análise de documentos técnicos, este trabalho aborda a caracterização fisiográfica e ambiental do reservatório da Pampulha e da sua bacia hidrográfica, com ênfase no processo de assoreamento dos seus cursos d'água. A interpretação de dados disponíveis em estudos e relatórios produzidos no decorrer dos Serviços de Desassoreamento do Reservatório da Pampulha no biênio 2013-2014, possibilitou estimar os volumes de aporte de sedimentos para a represa em determinados períodos. Destacam-se os relatórios de batimetrias realizadas antes, durante e após as intervenções do desassoreamento. Ademais, o trabalho sugere também refletir sobre possíveis influências que atuam na produção e aporte de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha, associando indicadores tais como obras de movimentação de terra, crescimento demográfico, erosões, dentre outras contribuições inerentes ao uso e ocupação do solo da bacia.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos. Bacia hidrográfica. Reservatório. Assoreamento. Batimetrias. Uso e ocupação do solo.

## ABSTRACT

SOUZA, M. H. P. **Estimates of sediment volumes contributed to the Pampulha Reservoir in periods between November 2012 and November 2014.** Monograph (Post-Graduation in Water Resources Management) - Federal University of Minas Gerais, 2016.

Population and economic growth coupled with the environmental conditions of each region can generate numerous problems related to water, such as the restriction of availability and water pollution due to lack of sanitation. It is necessary to optimize the management of water resources, through an integrated planning that involves the various spheres of public power, private and civil society. The management of rivers, lakes and reservoirs should be conceived within their river basin, this being the planning unit where they are inserted. The reservoirs situated in urban areas are particularly prone to suffer from several types of anthropic impacts, and the Pampulha reservoir, located in Belo Horizonte, does not escape this rule (PINTO-COELHO et al., 2012). In recent years, the City of Belo Horizonte has committed itself to an ample project of recovery and revitalization of this reservoir, whose actions involve, among others, the desanding of the dam. By means of bibliographic reviews and analysis of technical documents, this work deals with the physiographic and environmental characterization of the Pampulha reservoir and its hydrographic basin, with emphasis on the sedimentation process of its watercourses. The interpretation of data available in studies and reports produced during the Pampulha Reservoir Desorption Services in the 2013-2014 biennium allowed the estimation of sediment supply volumes for the dam at certain periods. Special mention should be made of bathymetric reports made before, during and after the interventions of desorption. In addition, the study also suggests possible factors that influence the production and the contribution of sediments in the Pampulha basin, associating indicators such as earthworks, demographic growth, erosion, among other contributions inherent to the river basin use and occupation of the soil.

**Key words:** Water resources management. Hydrographic basin. Reservoir. Sedimentation. Bathymetry. Use and occupation of soil.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVO .....	18
2.1 Objetivos Gerais.....	18
2.1 Objetivos Específicos.....	18
3. JUSTIFICATIVA.....	19
4. METODOLOGIA .....	24
5. DESENVOLVIMENTO .....	26
5.1 Localização .....	26
5.2 Histórico .....	27
5.3 Caracterização Fisiográfica e Ambiental .....	36
5.3.1 Hidrografia .....	36
5.3.2 Pluviometria .....	37
5.3.3 Geomorfologia Local.....	40
5.3.4 Ecossistemas do Reservatório da Pampulha .....	41
5.3.5 Macrófitas .....	47
5.3.6 Qualidade da Água .....	53
5.3.7 Uso e Ocupação do Solo .....	59
5.4 Plano de Dragagem .....	72
5.5 Levantamentos Batimétricos.....	79
5.5.1 Batimetria – Novembro/2012 .....	80
5.5.2 Batimetria – Agosto/2013.....	81
5.5.3 Batimetrias Semanais – 2013 / 2014.....	81
5.5.4 Batimetria – Novembro/2014 .....	82
5.6 Resultados .....	82
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista do reservatório da Pampulha .....	17
Figura 2: Evolução da produção de sedimentos de uma bacia em função dos tipos de ocupação do solo.....	19
Figura 3: Macrodiagrama do processo de obtenção de dados sedimentométricos. ....	21
Figura 4: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pampulha .....	26
Figura 5: Situação da Bacia Hidrográfica da Pampulha distribuída nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, contrastando com as bacias do Ribeirão do Onça e do Ribeirão Arrudas.....	27
Figura 6: “Anos dourados” da represa da Pampulha com o cassino (hoje museu) ao fundo. ....	28
Figura 7: Ruptura da barragem da Pampulha em abril de 1954.....	29
Figura 8: Excesso de algas causando rápida depreciação da qualidade da água. (A) Cianobactéria <i>Microcystis</i> , comum na represa da Pampulha. ....	30
Figura 9: Evolução do assoreamento na foz dos córregos Ressaca e Sarandi. ....	31
Figura 10: Foto aérea do processo de assoreamento que havia comprometido mais de 30% da superfície original da represa (SUDECAP-PBH, 1994).....	31
Figura 11: Fase avançada dos serviços de desassoreamento da Lagoa da Pampulha em outubro de 2014 .....	33
Figura 12: Embarcação em operação para aplicação dos produtos ENZILIMP® e PHOSLOCK®.....	34
Figura 13: Cronograma de execução da Recuperação da Qualidade da Água do Reservatório da Pampulha e resultados esperados .....	35
Figura 14: Principais tributários do reservatório da Pampulha: Córrego Mergulhão (A), Córrego Tijuco (B), Córrego Ressaca (C), Córrego Sarandi (C), Córrego Água Funda (D), Córrego Baraúnas (E), Córrego da AABB, (F), Córrego Olhos D’água ou Céu Azul (G), Reservatório (H), vertedouro no Ribeirão da Pampulha (I).....	37
Figura 15: Sinais de assoreamento no Córrego Sarandi no trecho a jusante da sua confluência com o Córrego Ressaca .....	41
Figura 16: O reservatório da Pampulha pode ser dividido em cinco compartimentos. As áreas que ainda permanecem como espelhos de água são as áreas (1), (2) e (5). As áreas (3) e (4) foram completamente assoreadas...	42
Figura 17: Processo inicial de sucessão ecológica. Sedimentos da borda expostos pela flutuação negativa do nível d’água e início da colonização por macrófitas.....	43
Figura 18: “Área de baixa profundidade” sendo utilizada por aves aquáticas e um pequeno banco de macrófitas iniciais típicas. ....	43
Figura 19: Visão geral da sucessão ecológica encontrada no reservatório da Pampulha. <i>No lado esquerdo superior: Coluna d’água. No lado esquerdo ao</i>	



<i>centro</i> : Ilhas de baixa profundidade (nota-se aves aquáticas forrageando). Ao <i>centro</i> : Banco de macrófitas inicial formando uma pequena ilha. No <i>lado direito superior</i> : Banco de macrófitas consolidado. Nota-se o consórcio entre plantas aquáticas típicas e espécies lenhosas arbustivas. ....	44
Figura 20: Transição entre áreas de ilhas baixa profundidade para banco de macrófitas inicial. Nota-se a existência de bancos de sedimento nus sendo colonizados por plantas aquáticas. ....	45
Figura 21: Banco de macrófitas consolidado. Nota-se a ocorrência de espécies lenhosas arbustivas e arbóreas.....	46
Figura 22: Final da sucessão ecológica. Áreas de terra firme e a colonização por árvores. ....	46
Figura 23: Banco monoespecífico de macrófita aquática inicial ( <i>Typha domingensis</i> ) localizado na enseada do Zoológico. ....	47
Figura 24: Mapeamento de ilhas de baixa profundidade e ecossistemas associados. ....	52
Figura 25: Sub-programas do PROPAM .....	55
Figura 26: Mapa de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da Pampulha .....	60
Figura 27: Urbanização da Bacia Hidrográfica da Pampulha .....	65
Figura 28: Erosão na margem do afluente do Córrego Ressaca .....	67
Figura 29: Localização de vilas e conjuntos na bacia hidrográfica da Pampulha .....	68
Figura 30: Obras de movimentação de terra no Distrito Industrial do município de Contagem executadas em junho de 2002 .....	69
Figura 31: Execução das obras do Shopping Contagem .....	70
Figura 32: Obras de tratamento de fundo de vale executadas no canal do Córrego Ressaca .....	71
Figura 33: Localização das obras de tratamento de fundo de vale em execução no canal do Córrego Ressaca .....	71
Figura 34: Escavadeira anfíbia em operação na Enseada das Garças.....	73
Figura 35: Draga sobre balsa executando dragagem nas imediações da Ilha dos Amores .....	74
Figura 36: Planejamento da locação das linhas de tubulações.....	74
Figura 37: Descritivo das linhas de Dragagem.....	74
Figura 38: Pátio de desidratação e carga de sedimentos dragados.....	75
Figura 39: Croqui das bacias de decantação na Enseada do Zoológico.....	76
Figura 40: Bacias de decantação em operação na Enseada do Zoológico.....	76
Figura 41: Conjunto Batelão em operação na foz do Córrego Sarandi .....	77
Figura 42: Planejamento das etapas de Dragagem .....	78
Figura 43: Levantamento Batimétrico no reservatório da Pampulha.....	80
Figura 44: Aspecto do espelho d'água da Lagoa, no entorno da Ilha dos Amores, em abril de 2014. ....	87
Figura 45: Aspecto do espelho d'água da Lagoa, no entorno da Ilha dos Amores, em novembro de 2014. ....	87

Figura 46: Possíveis linhas de pesquisa para a continuidade dos estudos de monitoramento ambiental visando acompanhar a melhoria das condições ambientais do reservatório da Pampulha. .... 91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Totais mensais de precipitações na Estação Pluviométrica do Horto – Belo Horizonte/MG .....	38
Tabela 2: Máximas mensais de precipitações na Estação Pluviométrica do Horto – Belo Horizonte/MG .....	38
Tabela 3: Quantificação de áreas a serem dragadas e áreas remanescentes.	51

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Lista de macrófitas aquáticas e plantas associadas ao ecossistema .....	48
Quadro 2: Volume das áreas dragadas no reservatório da Pampulha no biênio 2013-2014. ....	72
Quadro 3: Avaliação do aporte de sedimentos em relação aos estudos do edital do Contrato N° 50/13.....	84
Quadro 4: Avaliação do aporte de sedimentos em relação às batimetrias da obra de desassoreamento no biênio 2013-2014 .....	84
Quadro 5: Parâmetros morfométricos primários do reservatório da Pampulha extraídos em novembro de 2014.....	85
Quadro 6: Parâmetros morfométricos secundários do reservatório da Pampulha extraídos em novembro de 2014.....	86

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Status de focos erosivos em áreas particulares.....	66
Gráfico 2: Status de focos erosivos em áreas públicas .....	66

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A – Ofício de autorização de uso dos dados da SUDECAP-PBH.....	95
ANEXO B – Carta Batimétrica do Reservatório da Pampulha .....	96

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CONABIO	Comissão Nacional da Biodiversidade
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
FZB-BH	Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte
IEPHA	Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de Qualidade da Água
IPHAN	Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
LPOUS	Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo
NSF	<i>National Sanitation Foundation</i>
ONG	Organização Não Governamental
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
pH	Potência de hidrogênio
PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
PROPAM	Programa de Desenvolvimento e Recuperação da Bacia da Pampulha
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, desde o início da civilização, o homem vem construindo milhares de reservatórios pelo mundo, fundamentais ao desenvolvimento das ocupações humanas. Inicialmente, a construção dessas barragens visava, sobretudo, combater a escassez de água no período seco de forma mais ou menos empírica.

Com a Revolução Industrial, houve a necessidade de se construir um número crescente de barragens, o que permitiu o progressivo aperfeiçoamento das técnicas de projeto e construção. Desde então, os usos da água em reservatórios atendem diversas finalidades, como irrigação, hidroeletricidade, suprimento de água, controle de enchentes, navegação, piscicultura, recreação, entre outros. Hoje esses empreendimentos ocupam centenas de quilômetros quadrados e armazenam algumas dezenas ou mesmo centenas de quilômetros cúbicos de água. Esses grandes reservatórios são elementos da paisagem de destaque no Planeta e facilmente visíveis em imagens de satélite (PINTO-COELHO & HAVENS, 2015).

Paralelamente, o crescimento populacional e econômico somado às condições ambientais de cada região vem gerando inúmeros problemas relacionados à água, como a restrição de sua disponibilidade e a poluição das águas pela carência de saneamento. Neste cenário, torna-se necessário a otimização da gestão dos recursos hídricos no âmbito das suas bacias hidrográficas, mediante um planejamento integrado que envolva as diversas esferas do poder público, privado e sociedade civil.

Os reservatórios situados em zonas urbanas estão particularmente sujeitos a sofrerem diversos tipos de impactos antrópicos e o reservatório da Pampulha, localizado em Belo Horizonte, não foge a essa regra (PINTO-COELHO et al., 2012). Dentre os efeitos mais severos que o ambiente vem enfrentando, podemos destacar o assoreamento, a eutrofização, a contaminação por metais traços, o acúmulo de lixo, invasão de espécies exóticas, doenças de veiculação hídrica e outras doenças (zoonoses) associadas ao desequilíbrio observado tanto na flora quanto na fauna do entorno do reservatório, dentre outros problemas de interesse público. Embora



o reservatório sofra com a degradação, sua paisagem ainda é uma referência pela beleza cênica e harmonia com a arquitetura local, sendo um dos principais cartões postais da capital mineira (Figura 1).

Figura 1: Vista do reservatório da Pampulha



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Nos últimos anos, a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) se comprometeu com um amplo projeto de recuperação e revitalização do reservatório da Pampulha, o qual pode ser dividido em três fases distintas: (a) retirada da entrada de esgotos domésticos e não domésticos não tratados; (b) desassoreamento e (c) despoluição da represa propriamente dita.

Parte-se do princípio de que toda obra de engenharia, seja ela executada em um ecossistema terrestre ou aquático, possui um potencial de causar impactos ambientais relevantes. No caso de serviços e obras executadas em rios, lagos e reservatórios, esses impactos podem ser ainda mais severos, dada a sensibilidade e baixa resistência da biota desses ecossistemas perante as intervenções antrópicas. Inúmeros processos,

informações e análises são utilizadas para avaliar os possíveis impactos e mitigações dessas obras. Com o incremento das legislações e maior atuação dos órgãos competentes, o monitoramento ambiental das obras tem sido uma prática eficaz para garantir o cumprimento dos programas ambientais previstos no licenciamento de empreendimentos de infraestrutura.

O monitoramento ambiental dos serviços e obras de desassoreamento do reservatório da Pampulha realizados no biênio 2013-2014, possibilitou a geração de estudos e relatórios os quais imprimem forma útil para este trabalho. Dentre as ações realizadas, destacam-se os levantamentos batimétricos executados no reservatório, o que despertou a pergunta problema desta monografia acerca da quantidade de sedimentos aportados para a represa em determinados períodos.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivos Gerais**

- a) Avaliar as possíveis influências que atuam na produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha, associando indicadores tais como obras de movimentação de terra, crescimento demográfico, erosões, dentre outras contribuições inerentes ao uso e ocupação do solo da bacia, apoiando-se em estudos empíricos;
- b) Propor ações estratégicas no âmbito do monitoramento ambiental do reservatório da Pampulha, tendo em vista sua revitalização progressiva.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- a) Interpretar os dados resultantes de levantamentos batimétricos realizados antes, durante e após os serviços de desassoreamento do reservatório da Pampulha executados no biênio 2013-2014;

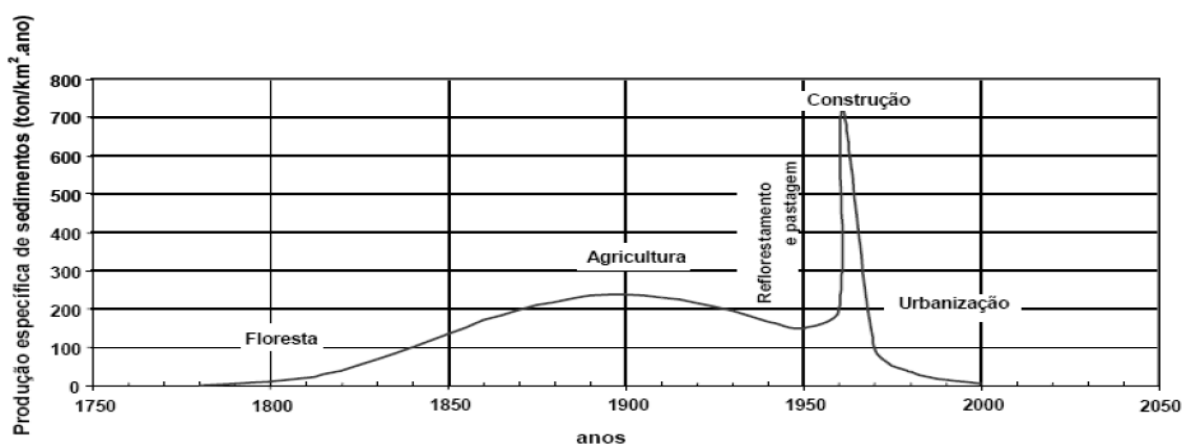
- b) Analisar comparativamente as batimetrias realizadas em diferentes momentos, de modo a obter estimativas do volume de sedimentos aportados para o reservatório da Pampulha nos períodos estudados.

### 3. JUSTIFICATIVA

Os termos erosão e sedimentação envolvem os processos erosivos da bacia hidrográfica, transporte e deposição de partículas sólidas, o que é comumente definido como sedimento. O transporte de sedimentos afeta a qualidade da água podendo influenciar nos usos desejados. Os sedimentos não são somente um dos maiores poluentes da água, mas também funcionam como catalisadores, carreadores e como agentes fixadores para outros elementos poluidores.

A avaliação da quantidade de sedimentos gerados em bacias urbanas apresenta grandes dificuldades. Existem muito poucos dados de produção de sedimentos nestas bacias, sendo que alguns estudos apontam, conforme Ramos (1995), para um aumento de 5, 10 e até 50 vezes a produção de sedimentos da bacia hidrográfica original. A Figura 2 demonstra a proporção de sedimentos produzidos em relação a alguns usos do solo típicos em bacias hidrográficas.

Figura 2: Evolução da produção de sedimentos de uma bacia em função dos tipos de ocupação do solo



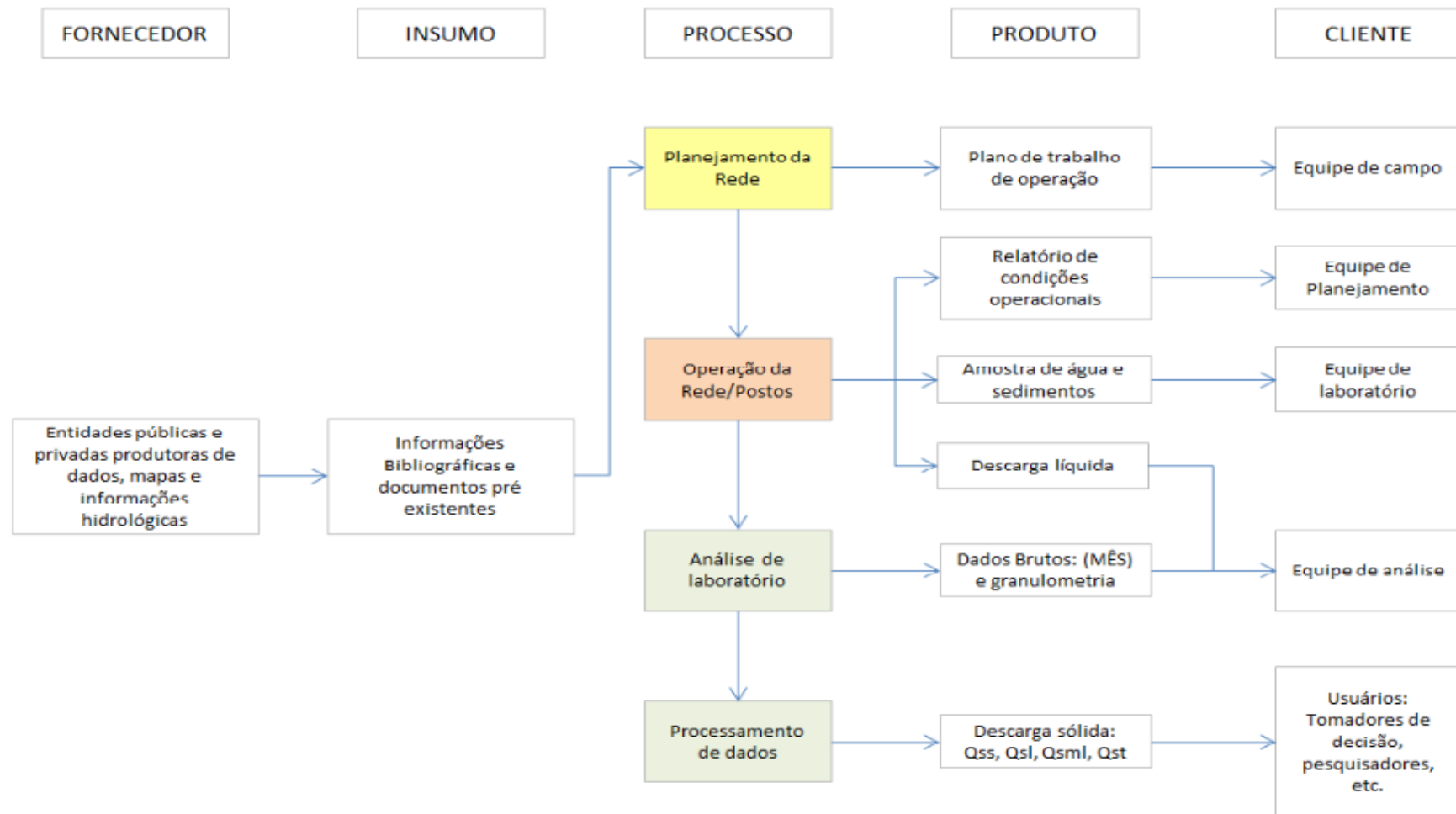
Fonte: WOLMAN, 1967 apud JANSSON, 1982.

O conhecimento da descarga sólida pode ser necessário para análises de degradação de uma bacia, verificação da qualidade da água para abastecimento, estudos de assoreamento de rios e reservatórios, estudos de assoreamento na posição de obras fluviais, estudo de causas das enchentes, dentre outras pesquisas úteis para as ciências ambientais e engenharias.

A sedimentometria se refere à medida da quantidade do sedimento transportado pelos cursos d'água. Essa medida é feita por diversos métodos considerados diretos e indiretos, os quais são definidos pelo tipo de equipamento utilizado nas medições e procedimentos envolvidos.

Segundo o Guia de Práticas Sedimentométricas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2000), a sedimentometria no Brasil tem sido realizada por redes de amostragem, coleta de amostras de água e sedimento, análise em laboratório e cálculos para obtenção da descarga sólida, sendo este processo considerado um dos métodos indiretos. Tal processo é ilustrado em macrodiagrama apresentado na Figura 3.

Figura 3: Macrodiagrama do processo de obtenção de dados sedimentométricos.



Fonte: Guia de Práticas Sedimentométricas da ANEEL, 2000.

O guia supracitado orienta o planejamento da quantidade de postos sedimentométricos devidamente distribuídos numa bacia hidrográfica e as suas respectivas operações, conforme a finalidade a que se destina a rede. Normalmente podem ser instalados postos que compõem uma rede primária ou uma rede secundária.

A rede primária, ou básica, é formada por um mínimo de postos que são operados por uma entidade que se encarrega da rede hidrométrica nacional e/ou estadual, cuja operação é destinada a diversas finalidades de uso dos recursos hídricos de longo prazo.

A rede secundária se destina a fins específicos e é limitada a uma bacia hidrográfica ou a uma área de drenagem. Esse é o caso de postos destinados ao estudo do assoreamento de um reservatório.

Tais amostragens são efetuadas em postos fluviométricos, sendo necessário o conhecimento de medidas como o nível d'água, a velocidade da corrente, a descarga líquida e outros. Dados de transporte de sedimento podem ser complementados pelo levantamento batimétrico em lagos e reservatórios, embora informações obtidas dessa forma não possam substituir completamente as medidas em postos nos cursos d'água (WMO, 1994).

É comum os serviços das entidades darem maior importância às medições de descarga em suspensão pela facilidade e menor custo de obtenção, e também pela maior quantidade no curso d'água, ficando o conhecimento da descarga do leito por conta de um fator que nem sempre corresponde à aproximação desejável.

Um dos métodos diretos adotados para medição de descargas sólidas totais é o levantamento topo-batimétrico de reservatórios, determinando o volume dos depósitos e da eficiência de retenção de sedimentos na represa. Para pequenos reservatórios permite-se o cálculo do sedimento do leito. Para grandes reservatórios permite-se o cálculo do sedimento total.

Nas últimas décadas, o reservatório da Pampulha esteve submetido a grandes concentrações de cargas poluidoras, altos índices de assoreamento e enchentes recorrentes em alguns dos seus tributários. A implantação de uma rede sedimentométrica na bacia da Pampulha seria uma alternativa desejável, inclusive pelo histórico de tentativas para a recuperação do volume e da qualidade da água do

reservatório. Os dados gerados em uma rede sedimentométrica contribuiriam significativamente para pesquisas científicas, monitoramentos vinculados as metas de revitalização do reservatório da Pampulha e soluções para os problemas de drenagem na bacia. No entanto, os postos estariam associados a estações fluviométricas existentes, e novas implantações dependeriam de grandes investimentos visando uma amostragem ideal.

Diante este contexto, o estudo proposto neste trabalho pode ser adotado como um método direto ou complementar para estimar o aporte de sedimentos para o reservatório em determinados períodos. Todavia, é considerado somente o volume de sedimentos depositados no leito reservatório, descartando a parcela em suspensão ou transportada para jusante da represa.

Oportunamente, os dados deste trabalho poderão atestar informações publicadas pela Prefeitura de Belo Horizonte, quanto à redução do aporte de sedimentos para o reservatório em relação às estimativas dos anos anteriores (de 400.000 m<sup>3</sup> para cerca de 100.000 m<sup>3</sup>).

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu, inicialmente, em revisões bibliográficas e análise de documentos técnicos com ênfase na caracterização fisiográfica e ambiental do reservatório da Pampulha e da sua bacia hidrográfica. Tal caracterização abordou os aspectos mais relevantes e históricos nas relações com o processo de assoreamento do reservatório.

Posteriormente, foi realizada a extração e interpretação de dados e informações de estudos e relatórios produzidos no decorrer dos Serviços de Desassoreamento do reservatório da Pampulha no biênio 2013-2014. Os relatórios são de posse da Superintendência de Desenvolvimento da Capital da Prefeitura de Belo Horizonte – SUDECAP/PBH. A autoria dos relatórios é da Consominas Engenharia Ltda., quando a empresa prestava serviços de consultoria para a PBH mediante o contrato SC-072. O uso dos relatórios foi autorizado pela SUDECAP-PBH conforme formalizado no ofício apresentado no Anexo A.

A seguir, são apresentados os relatórios e estudos elaborados no referido contrato e suas respectivas análises dos dados de interesse para este trabalho.

- a) Relatório Final de Batimetria, janeiro de 2015: Este relatório permeia todo o conteúdo desta monografia, por apresentar os resultados das batimetrias realizadas antes, durante e após os serviços de desassoreamento do reservatório da Pampulha no biênio 2013-2014. A comparação dos resultados indica as estimativas de volumes de sedimentos aportados para o reservatório da Pampulha nos períodos estudados.
- b) Plano de Manejo de Macrófitas, outubro de 2013: O Plano contextualiza o processo de assoreamento no reservatório em seus diferentes estágios de desenvolvimento.
- c) Relatório de Monitoramento de Qualidade da Água e Biomonitoramento Ecotoxicológico, fevereiro de 2015: Este relatório apresenta os resultados de análises de qualidade da água e acumulação de metais traços em peixes do reservatório da Pampulha. As interpretações das análises corroboram com as características hipertróficas do reservatório, além de indicarem as influências que exercem a operação dos serviços de desassoreamento realizados em reservatórios.



A análise das informações extraídas em tais documentos foi associada com as práticas e tendências de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da Pampulha, e suas relações com a produção e o aporte de sedimentos para o reservatório.

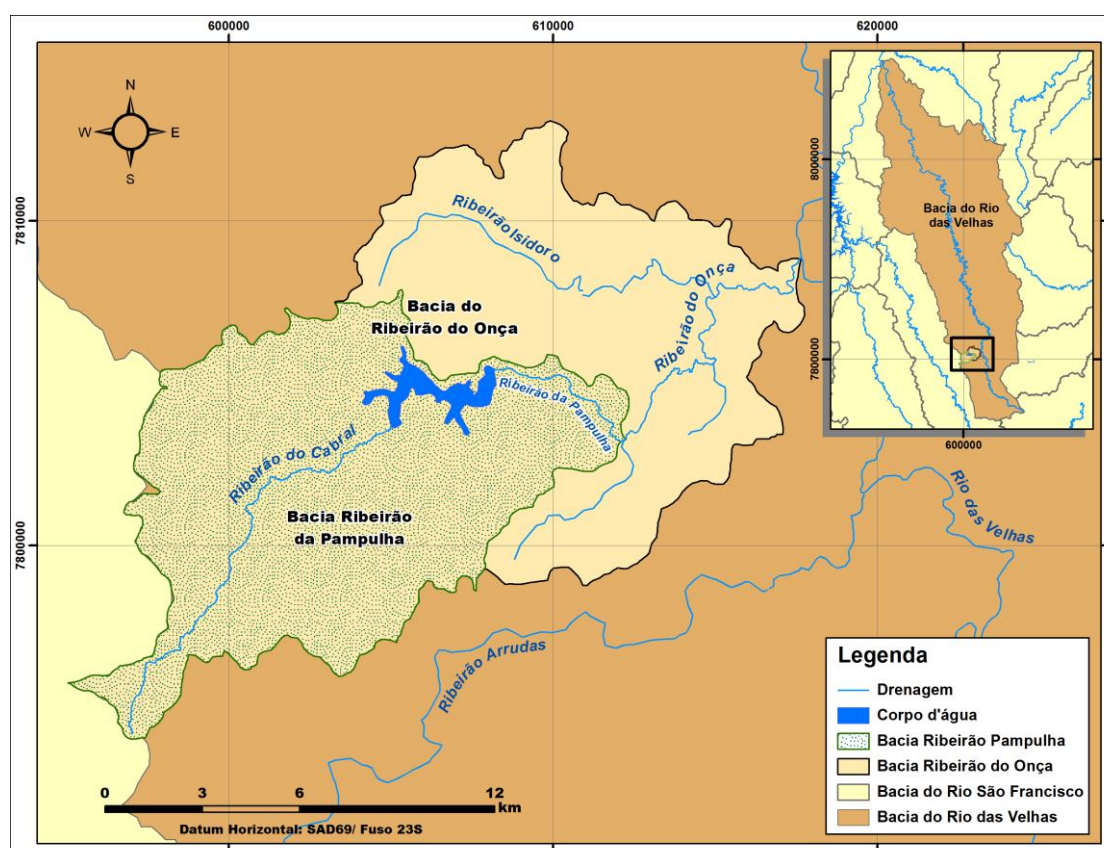
## 5. DESENVOLVIMENTO

### 5.1 Localização

O reservatório da Pampulha está inserido na Região Administrativa da Pampulha, localizado na malha urbana do município de Belo Horizonte/MG.

A Figura 4 representa o reservatório inserido na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pampulha, esta que compõe a Bacia do Córrego do Onça, integrante da Bacia do Rio das Velhas, e que por sua vez, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

Figura 4: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pampulha



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

A bacia de drenagem do reservatório é dividida entre os municípios mineiros de Belo Horizonte (44,9%) e Contagem (55,1%). A Figura 5 representa a distribuição geográfica da Bacia da Pampulha entre estes dois municípios.

Figura 5: Situação da Bacia Hidrográfica da Pampulha distribuída nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, contrastando com as bacias do Ribeirão do Onça e do Ribeirão Arrudas.



Fonte: PROPAM, 2016.

## 5.2 Histórico

O reservatório da Pampulha foi inaugurado em 1938, durante o mandato do prefeito Otacílio Negrão de Lima. Com a ideia inicial de controlar a cheia dos tributários do Ribeirão Pampulha e abastecer a cidade de Belo Horizonte, o prefeito enxergou a possibilidade de transformar a represa em uma atração turística.

A primeira etapa da construção do reservatório foi iniciada em 1936 e concluída em 1938 (11,50 m de altura) e a segunda etapa (16,50 m de altura) iniciada em 1940 e concluída em 1943, represando as águas que formaram a “Lagoa” da Pampulha, inaugurada em conjunto com diversas obras componentes do acervo cultural no entorno.

Em meados de 1940, com a implantação do conjunto arquitetônico e do Aeroporto da Pampulha, iniciou o surgimento dos primeiros bairros e um intenso fluxo na região. A Figura 6 apresenta uma das paisagens da época, demonstrando a harmonia entre as ocupações na orla da represa e o espelho d'água.

Figura 6: “Anos dourados” da represa da Pampulha com o cassino (hoje museu) ao fundo.



Fonte: PINTO-COELHO et al., 2012.

A histórica ruptura da barragem deu-se em abril de 1954, causando prejuízos ao longo do córrego Pampulha e do Ribeirão do Onça, a jusante da barragem. As razões teóricas para o rompimento sugerem a erosão interna dos caminhos de percolação da água no corpo da barragem, num ponto situado próximo ao seu topo, além do emperramento da comporta do vertedouro, não permitindo o alívio de pressão da água. A Figura 7 apresenta uma imagem do momento em que a barragem se rompeu em abril de 1954.

Figura 7: Ruptura da barragem da Pampulha em abril de 1954.



Fonte: Eugênio/O Cruzeiro/EM

A reconstrução da barragem, iniciada no mesmo ano de sua ruptura, através de um convênio entre a Prefeitura e o DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento teve a sua conclusão e reinauguração em 1958, desta vez com critérios e técnicas mais incrementadas.

Na década de 50, a construção do Campus da UFMG, da BR-040, Ceasa e da Cidade Industrial em Contagem, foram marcos importantes para a população da região da Pampulha, contribuindo para o seu crescimento acelerado e, portanto, com o início da degradação ambiental.

A expansão urbana dotada de um perfil sociocultural diversificado, aliada à melhoria das vias de acesso e a implementação de espaços de lazer, projetaram a Pampulha para uma ambígua realidade: a ausência de um planejamento integrado, ao lado do descontrole ambiental e sanitário, que empurraram a região para um impasse configurado por diferenças sociais, culturais e urbanísticas.

A partir da década de 70, a represa passa a sofrer um processo de eutrofização, causando grande deterioração ecológica do reservatório. Fenômenos tais como a proliferação de mosquitos, caramujos transmissores da esquistossomose, de plantas aquáticas (macrófitas) e os florescimentos de cianobactérias (*waterblooms*) vão gradualmente criando uma atmosfera de decadência ecológica com claros impactos na vida cultural e social do município (PINTO-COELHO et al., 2012). Desde então, os

fatores de degradação ambiental do reservatório demonstraram sérios agravamentos. A Figura 8 demonstra o aspecto da proliferação de algas na água do reservatório da Pampulha.

Figura 8: Excesso de algas causando rápida depreciação da qualidade da água. (A) Cianobactéria *Microcystis*, comum na represa da Pampulha.



Fonte: PINTO-COELHO et al., 2012.

Os problemas ambientais existentes na represa da Pampulha têm origem na sua bacia hidrográfica (CHAMPS, 1992), tais como: lançamentos de esgotos, canalização de alguns córregos, supressão da cobertura vegetal, obras de terraplenagens, crescente redução da taxa de permeabilidade, ocupações e usos inadequados do solo e a carência de infraestrutura em saneamento básico. Estes fatores desencadearam a perda da qualidade das águas da bacia e potencializaram o carreamento de sólidos, elevando sobremaneira o aporte de sedimentos para o reservatório, tornando-o um ambiente insalubre e deteriorado. A Figura 9 demonstra a evolução do assoreamento do reservatório desde a década de 60 até o ano 2000.

Figura 9: Evolução do assoreamento na foz dos córregos Ressaca e Sarandi.



Fonte: PROPAM, 2012.

Originalmente, a Lagoa possuía uma área de 2,5 Km<sup>2</sup>. Com as interferências ocorridas nas últimas décadas, atualmente seu espelho d'água possui cerca de 2,0 Km<sup>2</sup>. O volume útil do reservatório foi capaz de armazenar 18 milhões de m<sup>3</sup> de água, o que atualmente se encontra reduzido em torno de 10 milhões de m<sup>3</sup>. A Figura 10 demonstra o estágio avançado de assoreamento do reservatório da Pampulha na década de 90.

Figura 10: Foto aérea do processo de assoreamento que havia comprometido mais de 30% da superfície original da represa (SUDECAP-PBH, 1994)



Fonte: PINTO-COELHO et al., 2012.

Diante da gravidade dos fatos, os órgãos gestores da Lagoa da Pampulha realizaram três grandes obras de dragagem entre os anos de 1979 e 1996, retirando um volume de aproximadamente  $4,6 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de sedimentos (CPRM; SALIM et al., 2004).

Desde então a região da Pampulha torna-se alvo de investimentos notáveis em saneamento e paisagismo, buscando-se resgatar a melhoria da qualidade ambiental do reservatório.

Entre os anos de 2000 e 2006 novas obras de dragagem foram realizadas no reservatório, totalizando uma retirada de aproximadamente  $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3$  de sedimentos e vegetação flutuante.

Entre várias ações mitigadoras da degradação ambiental do reservatório da Pampulha, destaca-se a instalação, em 2003, de uma Estação de Tratamento das Águas Fluviais (ETAF) dos Córregos Ressaca e Sarandi pela COPASA (COUTINHO & VON SPERLING, 2007). A obra objetivou o tratamento das águas desses dois córregos, que são os principais responsáveis pelo aporte de sedimentos e nutrientes para a represa (Torres, 1999). A mesma foi implantada com projeto de vazão máxima de 750 l/s, visando atender descargas líquidas médias de período seco dos cursos d'água, sendo capaz de tratar 100% da vazão durante meados de abril a outubro, quando há o aumento da concentração dos poluentes na água.

Durante os anos de 2013 e 2014, como parte do processo de recuperação ambiental da Lagoa, a Prefeitura de Belo Horizonte realizou o desassoreamento de áreas da Lagoa, totalizando a remoção de cerca de 850.000  $\text{m}^3$  de sedimentos. As áreas desassoreadas atingiram aproximadamente 80 ha de área, correspondente a mais de 40% da superfície total da Lagoa. A Figura 11 demonstra o aspecto da Lagoa da Pampulha na fase final do desassoreamento realizado no biênio 2013-2014. Detalhes sobre estes serviços e estudos vinculados ao mesmo serão apresentados no corpo deste trabalho.



Figura 11: Fase avançada dos serviços de desassoreamento da Lagoa da Pampulha em outubro de 2014



Fonte: SUDECAP-PBH, 2014.

Além do desassoreamento ter sido de fundamental importância para a dinâmica do sistema, os resultados propiciaram um cenário favorável para a execução dos Serviços de Recuperação da Qualidade da Água, atualmente em andamento pela Prefeitura de Belo Horizonte.

O serviço de Recuperação da Qualidade da Água do Reservatório da Pampulha contempla a aplicação de duas tecnologias distintas e complementares. Uma consiste na aplicação de um Biorremediador destinado à desinfecção e degradação de matéria orgânica denominado ENZILIMP®, e a outra em um Remediador Ambiental Físico-Químico desenvolvido especificamente para reduzir as concentrações de fósforo em ambientes aquáticos, denominado PHOSLOCK®. A aplicação combinada destas técnicas de recuperação ambiental busca alcançar o pleno atendimento das disposições da Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e DN COPAM/CERH/001-08, considerando os limites da Classe 3. Para aplicação dos produtos é usada uma embarcação constituída por pontões flutuantes e sistema completo de aplicação: câmara de mistura, dutos e mangueiras, duas motobombas hidráulicas, motor de popa e Sistema de GPS (Figura 12).

Figura 12: Embarcação em operação para aplicação dos produtos ENZILIMP® e PHOSLOCK®



Fonte: PBH, 2016.

A Recuperação da Qualidade Água do Reservatório teve início no mês de março de 2016. Os trabalhos foram planejados em duas etapas, buscando-se resultados gradativos ao longo do tratamento da água (10 meses) e sua devida manutenção (12 meses posteriores).

A Figura 13 apresenta o cronograma dos serviços e os resultados estimados perante referências da Resolução CONAMA N° 357/2005 e do Relatório Marco Zero apresentado em 28 de janeiro de 2016, elaborado pela empresa executora dos serviços como premissa para o início do tratamento da água.

Figura 13: Cronograma de execução da Recuperação da Qualidade da Água do Reservatório da Pampulha e resultados esperados

VARIÁVEIS	Limite Classe 3 CONAMA 357/2005	Marco Zero	1ª Etapa de Tratamento									
			Percentual de redução estimado para cada variável em função do tratamento									
			Meses									
			1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
Fósforo Total (mg/L)	<0,05	0,62	0,0%	10,0%	30,0%	40,0%	50,0%	60,0%	70,0%	80,0%	92,0%	92,0%
Clorofila-a (µg/L)	<60	245	0,0%	10,0%	30,0%	40,0%	40,0%	60,0%	65,0%	75,0%	76,0%	76,0%
Cianobactérias (célis/mL)	<100.000	626279	0,0%	10,0%	30,0%	40,0%	40,0%	60,0%	60,0%	70,0%	85,0%	85,0%
Coliformes (UFC/100 mL)	<2500	521417	0,0%	10,0%	30,0%	40,0%	50,0%	60,0%	70,0%	80,0%	99,55%	99,55%
DBO (mg/L)	<10,0	19,9	0,0%	10,0%	20,0%	30,0%	35,0%	40,0%	50,0%	55,0%	55,0%	55,0%

VARIÁVEIS	Limite Classe 3 CONAMA 357/2005	2ª Etapa de Tratamento - Manutenção											
		Percentual de redução estimado para cada variável em função do tratamento											
		Meses											
		11º	12º	13º	14º	15º	16º	17º	18º	19º	20º	21º	22º
Fósforo Total (mg/L)	<0,05	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%	92,0%
Clorofila-a (µg/L)	<60	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%	76,0%
Cianobactérias (célis/mL)	<100.000	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%
Coliformes (UFC/100 mL)	<2500	99,55%	99,55%	99,55%	99,6%	99,6%	99,6%	99,6%	99,6%	99,6%	99,6%	99,6%	99,6%
DBO (mg/L)	<10,0	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%	60,0%



Classe 4

2ª ETAPA DE TRATAMENTO - JAN.2017 A JAN.2018 - MANUTENÇÃO DA META – CLASSE 3



Classe 3

1ª ETAPA DE TRATAMENTO - MAR.2016 A JAN.2017 (ATUAL) - ATINGIMENTO DA META – CLASSE 3

MARCO ZERO - ETAPA DE CONSOLIDAÇÃO DO DIAGNÓSTICO – ANTERIOR AO INÍCIO DOS SERVIÇOS

Fonte: PBH, 2016.

### 5.3 Caracterização Fisiográfica e Ambiental

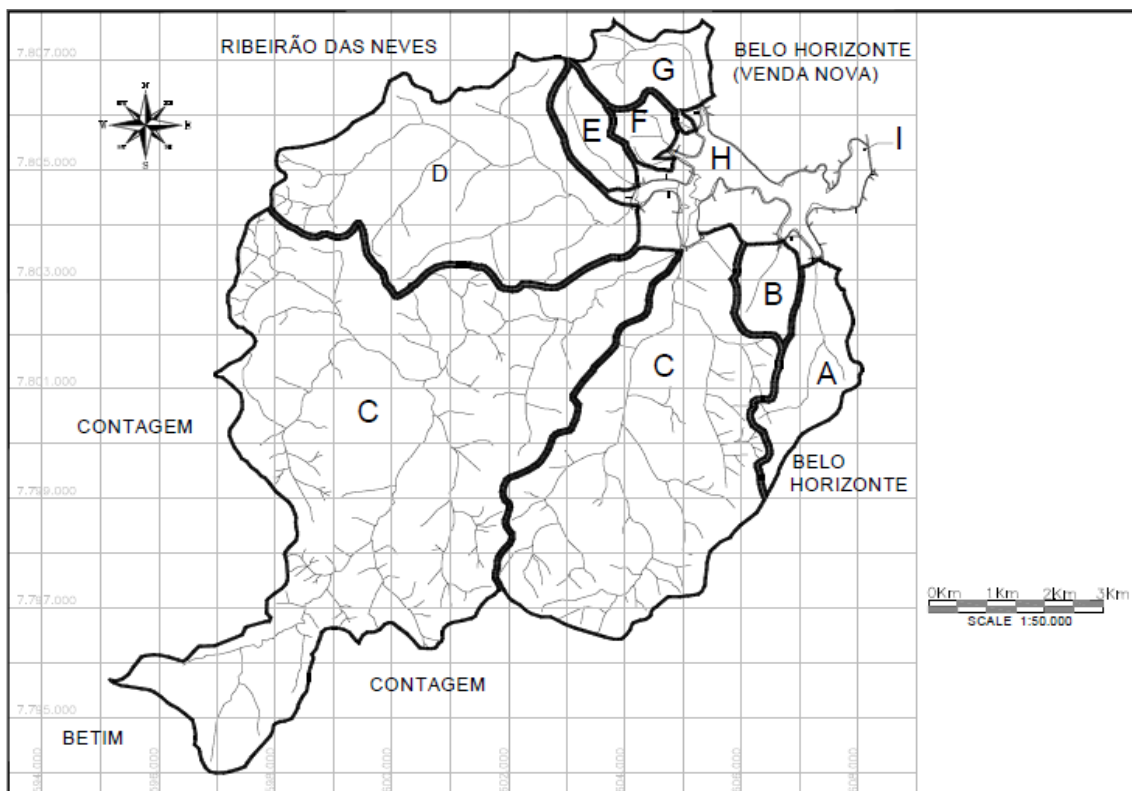
A caracterização abordada neste capítulo é voltada para os aspectos considerados mais relevantes na relação com os processos de transporte e deposição de sedimentos e os estágios de assoreamento do reservatório. Buscou-se reunir informações associadas com as causas e efeitos do assoreamento, destacando as principais fragilidades e potencialidades da bacia hidrográfica da Pampulha.

#### 5.3.1 Hidrografia

A bacia de drenagem do reservatório da Pampulha possui uma área de 97,91 km<sup>2</sup>, cuja hidrografia é composta por 40 córregos, dos quais 19 estão localizados em Belo Horizonte e 21 no município de Contagem.

O reservatório possui oito tributários diretos. São eles: córregos Mergulhão, Tijuco, Ressaca, Sarandi, Água Funda, Baraúnas, AABB e Olhos D'água, com destaque para os afluentes Ressaca, que tem origem e fim em Belo Horizonte, e Sarandi, que nasce e percorre grande parte do município de Contagem (Figura 14). Juntos, os córregos Ressaca e Sarandi respondem por cerca de 75% da vazão aportada para o reservatório da Pampulha. Portanto, estes devem ser vistos como os principais responsáveis pelo aporte de sedimentos e efluentes sanitários para o reservatório, não somente por suas vazões, mas também pela extensão das áreas de contribuição de suas bacias e usos do solo praticados em seus territórios.

Figura 14: Principais tributários do reservatório da Pampulha: Córrego Mergulhão (A), Córrego Tijuco (B), Córrego Ressaca (C), Córrego Sarandi (C), Córrego Água Funda (D), Córrego Baraúnas (E), Córrego da AABB, (F), Córrego Olhos D'água ou Céu Azul (G), Reservatório (H), vertedouro no Ribeirão da Pampulha (I).



Fonte: PINTO-COELHO et al., 2012.

### 5.3.2 Pluviometria

Os dados pluviométricos estão diretamente associados com a produção e o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas, sobretudo, quando analisados em conjunto com outros fatores, tais como topografia, uso e ocupação do solo, áreas propensas a erosão, dentre outros.

Os dados mensais e diários de pluviometria são apresentados neste capítulo, corroborando com a influência das precipitações no aporte de sedimentos para o reservatório da Pampulha. No capítulo de apresentação dos resultados (5.6 – Resultados), foi estimada a quantidade de períodos

hidrológicos, completos ou parciais, adotados para calcular os volumes de sedimentos aportados para o reservatório no espaço de tempo entre as batimetrias analisadas neste trabalho.

A Tabela 1 apresenta os dados pluviométricos dos totais mensais, incluindo o período entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014, registrados na estação pluviométrica do Horto – Belo Horizonte/MG, situada na bacia hidrográfica da Pampulha, nas proximidades do reservatório. Portanto, a tabela compreende o momento da primeira batimetria realizada no mês de novembro de 2012 até o mês de término do desassoreamento dado em novembro de 2014, quando foi realizada a última batimetria analisada neste trabalho.

Tabela 1: Totais mensais de precipitações na Estação Pluviométrica do Horto – Belo Horizonte/MG

TOTAIS MENSAIS													
Série: BELO HORIZONTE (HORTO) 01943055 (Importado, Bruto, 01/2012 - 12/2014)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2012	407,5	34,3	196,4	111,3	61,1	17	0	0	22,8	32,1	<b>310</b>	<b>143</b>	1335,5
2013	<b>426,8</b>	<b>75,4</b>	<b>127,9</b>	<b>99,4</b>	<b>46,7</b>	<b>23,1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>32,8</b>	<b>137,7</b>	<b>108,2</b>	<b>495</b>	1573
2014	<b>103,9</b>	<b>22,9</b>	<b>73,7</b>	<b>235,8</b>	<b>18,5</b>	<b>13,1</b>	<b>48,1</b>	<b>3,3</b>	<b>1,8</b>	<b>69,4</b>	<b>11,4</b>	138,1	740
Média	312,7	44,2	132,7	148,8	42,1	17,7	16	1,1	19,1	79,7	143,2	258,7	1216,2

Fonte: Estação Pluviométrica 01943055 – Horto, Belo Horizonte/MG. Dados extraídos do Software Hidroweb 1.2, processado em 24 de junho de 2016.

Nota-se que a estação chuvosa na região tem início nos meses de outubro e terminos nos meses de abril.

A Tabela 2 apresenta os dados pluviométricos das máximas mensais, incluindo o período entre janeiro de 2012 e dezembro de 2014, também registrados na estação pluviométrica do Horto – Belo Horizonte.

Tabela 2: Máximas mensais de precipitações na Estação Pluviométrica do Horto – Belo Horizonte/MG

MÁXIMAS MENSAIS													
Série: BELO HORIZONTE (HORTO) 01943055 (Importado, Bruto, 01/2012 - 12/2014)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Máxima
2012	74,4	21,9	44	67,7	31,4	7,6	0	0	16,4	15	<b>80,6</b>	<b>65,1</b>	80,6

2013	<b>111,4</b>	<b>33</b>	<b>35,6</b>	<b>39,9</b>	<b>31</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13,3</b>	<b>23,8</b>	<b>31,3</b>	<b>84,3</b>	111,4
2014	<b>42</b>	<b>22,6</b>	<b>17,8</b>	<b>55,5</b>	<b>9</b>	<b>6,5</b>	<b>19,8</b>	<b>2,4</b>	<b>1,8</b>	<b>29,2</b>	<b>7</b>	71,3	71,3
Média	75,9	25,8	32,5	54,4	23,8	12,4	6,6	0,8	10,5	22,7	39,6	73,6	87,8

Fonte: Estação Pluviométrica 01943055 – Horto, Belo Horizonte/MG. Dados extraídos do Software Hidroweb 1.2, processado em 24 de junho de 2016.

Segundo dados do Climatempo (2016), nos meses de outubro, é comum as chuvas se manifestarem na forma de pancadas isoladas na maior parte do estado de Minas Gerais. Eventualmente, estas chuvas podem ocorrer no final dos meses de setembro. Somente nas regiões norte e nordeste do estado, é mais comum as chuvas iniciarem no final de outubro ou no início de novembro.

Pode-se inferir que as primeiras chuvas da estação são significativas para o arraste de sedimentos acumulados durante o período de estiagem, incluindo resíduos sólidos dispostos inadequadamente na bacia hidrográfica. Portanto, as precipitações ocorridas em outubro de 2014, foram fortes contribuintes para o aporte de sedimentos e detritos que se encontravam acumulados nas calhas e imediações dos tributários do reservatório da Pampulha.

Segundo dados da Supervisão de Obras da SUDECAP-PBH, durante o período do desassoreamento do reservatório da Pampulha no biênio 2013-2014, as ocorrências de chuvas na represa e no seu entorno foram constantemente registradas em diário de obras. Embora as baixas médias pluviométricas do ano de 2014 tenham sido destaques na história climática da região metropolitana de Belo Horizonte, os diários de obras registraram alguns eventos chuvosos de relevância, especialmente no mês de Outubro (01/10, 03/10, 28/10, 30/10). Além de indicarem a influência do aporte de sedimentos nos períodos estudados, os eventos chuvosos foram associados a outros efeitos na qualidade da água, proliferação de macrófitas flutuantes, mortandade de peixes, dificuldades na operação da dragagem, dentre outras implicações.

### 5.3.3 Geomorfologia Local

Segundo a descrição geomorfológica do Estudo de Impacto Ambiental da Recuperação da Qualidade da Água da Lagoa da Pampulha (SUDECAP-PBH, 2013), a bacia hidrográfica do reservatório insere-se na unidade geomorfológica denominada Depressão de Belo Horizonte ou Domo Belorizontino. Seu relevo é tipificado por espigões e colinas de topo plano arqueado e encostas policonvexas de declividades geralmente suaves ou em forma de anfiteatro. Feições côncavas resultantes da estabilização de antigas voçorocas são comuns na paisagem local. As maiores altitudes encontram-se no espigão do vale do Engenho Nogueira, entre 970 e 1010 m de altitude, e as cotas mais baixas, na foz dos tributários diretos do reservatório da Pampulha, a 800 m.

A bacia da Pampulha pode ser dividida em três compartimentos morfológicos:

- Topo de morro: com declividade baixa a moderada até a quebra do relevo da meia encosta. Sua morfologia é convexa favorecendo o escoamento hídrico difuso e a infiltração de águas pluviais;
- Meia encosta: locais de declividades moderadas a muito altas onde ocorrem os principais problemas erosivos. Localizam-se às margens da BR-040 no bairro Engenho Nogueira (sub-bacia do Mergulhão), e nas fazendas Boa Vista (sub-bacia do Sarandi) e Confisco (sub-bacia do Bom Jesus);
- Vales: de fundo chato que contrastam com trechos de drenagem encaixada. O desmatamento de cabeceiras e matas ciliares, praticados em quase todos os cursos d'água da bacia, associado à urbanização descontrolada e desencadeadora de processos erosivos, provocou um assoreamento dos leitos dos córregos, permitindo a formação de bacias aluvionares extensas.

A Figura 15 demonstra os sinais de assoreamento a jusante da confluência dos Córregos Sarandi e Ressaca, cujas áreas de contribuição da bacia são expressamente submetidas à urbanização e supressão de matas ciliares.



Figura 15: Sinais de assoreamento no Córrego Sarandi no trecho a jusante da sua confluência com o Córrego Ressaca

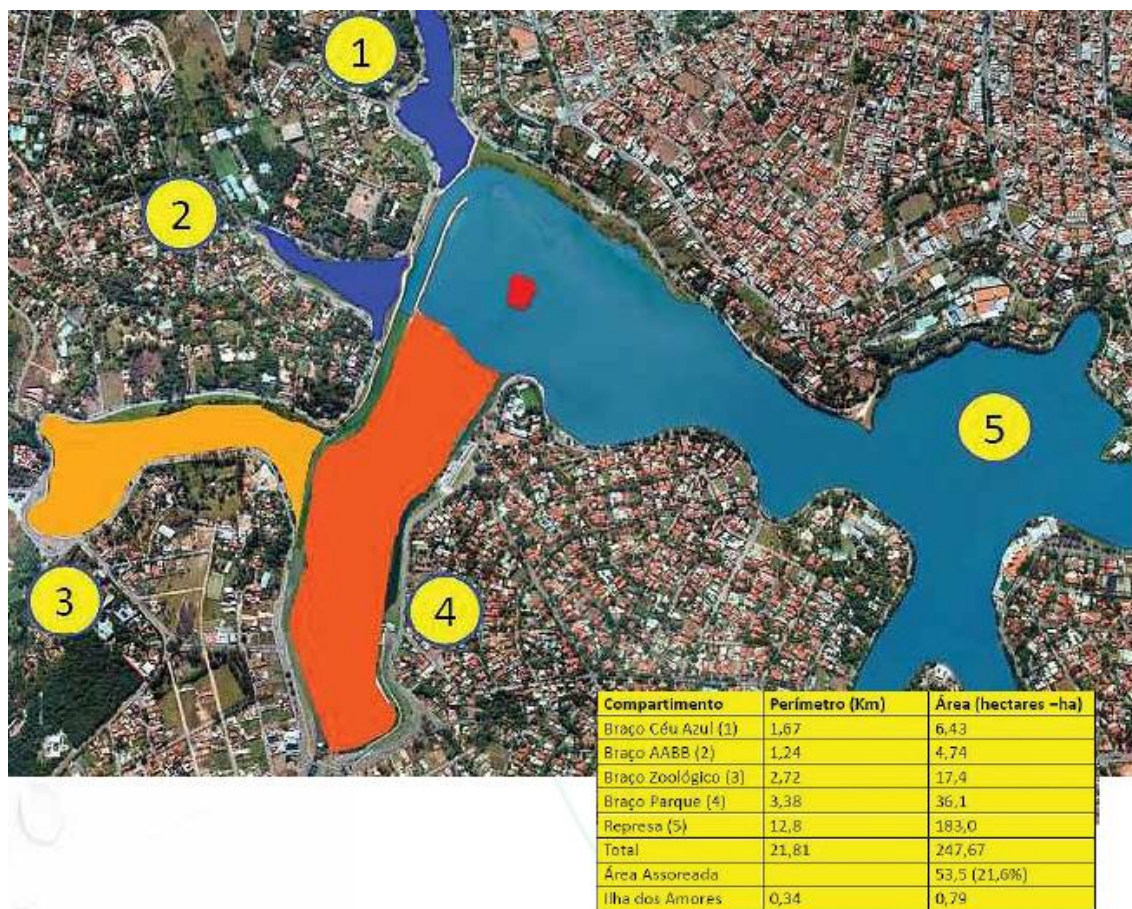


Fonte: SUDECAP-PBH, 2015.

#### **5.3.4 Ecossistemas do Reservatório da Pampulha**

O reservatório apresenta-se, hoje, como um conjunto de diferentes biótopos tipicamente aquáticos ou característicos das zonas de transição entre sistemas aquáticos e terrestres (PINTO-COELHO et al., 2012). A Figura 16 demonstra as características de cada um dos compartimentos do “ecossistema” do reservatório da Pampulha.

Figura 16: O reservatório da Pampulha pode ser dividido em cinco compartimentos. As áreas que ainda permanecem como espelhos de água são as áreas (1), (2) e (5). As áreas (3) e (4) foram completamente assoreadas



Fonte: PINTO-COELHO et al., 2012.

Segundo o Plano de Manejo de Macrófitas da Lagoa da Pampulha (SUDECAP-PBH, 2013), as zonas de transição se desenvolvem por processos típicos de ambientes lânticos, compostos por diferentes estágios naturais de sucessão ecológica:

- a) O processo se inicia na coluna d'água, que por sua vez é assoreada por aporte e deposição de sedimentos. A redução da altura da coluna d'água pode dar origem a um estágio, que pode ser denominado ilhas de baixa profundidade. Estas ilhas são as regiões da represa que apresentam espelho d'água livre associados a bancos de sedimentos, cuja profundidade da coluna d'água é reduzida a poucos centímetros,

criando um habitat ideal para o forrageamento de aves aquáticas, e a presença de anfíbios e répteis (Figura 17 e Figura 18).

Figura 17: Processo inicial de sucessão ecológica. Sedimentos da borda expostos pela flutuação negativa do nível d'água e início da colonização por macrófitas.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Figura 18: “Área de baixa profundidade” sendo utilizada por aves aquáticas e um pequeno banco de macrófitas iniciais típicas.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

- b) Flutuações da coluna d'água expõem o sedimento, favorecendo a colonização de macrófitas típicas (ervas aquáticas ou hidrófilas, submersas ou emergentes, fixas ou flutuantes), dando origem aos bancos de macrófitas iniciais (Figura 19 e Figura 20)

Figura 19: Visão geral da sucessão ecológica encontrada no reservatório da Pampulha. *No lado esquerdo superior: Coluna d'água. No lado esquerdo ao centro: Ilhas de baixa profundidade (nota-se aves aquáticas forrageando). Ao centro: Banco de macrófitas inicial formando uma pequena ilha. No lado direito superior: Banco de macrófitas consolidado. Nota-se o consórcio entre plantas aquáticas típicas e espécies lenhosas arbustivas.*



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Figura 20: Transição entre áreas de ilhas baixa profundidade para banco de macrófitas inicial. Nota-se a existência de bancos de sedimento nus sendo colonizados por plantas aquáticas.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

- c) Estes bancos tendem a oferecer condições para instalação de plantas lenhosas paludosas arbustivas e posteriormente até arbóreas, consolidando o banco de macrófitas (Figura 21 e Figura 22), o qual invariavelmente irá suceder em terra firme, com o estabelecimento de vegetação comum das zonas de transição entre ecossistemas aquáticos e terrestres.

Figura 21: Banco de macrófitas consolidado. Nota-se a ocorrência de espécies lenhosas arbustivas e arbóreas.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Figura 22: Final da sucessão ecológica. Áreas de terra firme e a colonização por árvores.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Tais processos aliados ao paisagismo urbano da região, dão origem as fitofisionomias observadas nas margens do reservatório da Pampulha. São basicamente áreas ocupadas por formações arborizadas e formações herbáceas. As formações arborizadas não chegam a caracterizar uma formação florestal típica, isso porque se tratam de áreas em colonização, no

qual se consorciam árvores nativas utilizadas normalmente em arborização urbana, como, por exemplo, a *Ceiba speciosa*, *Tabebuia serratifolia*, *Tabebuia heptaphyllum*, *Samanea tubulosa*, *Lecythispisonis*, com árvores exóticas, como, por exemplo, a *Leucaena leucocephala*. Essas áreas podem ser tratadas no máximo como bosques (SUDECAP-PBH, 2015).

As formações herbáceas se referem à cobertura de gramíneas exóticas nas áreas de terra firme, como, por exemplo, a *Brachiaria decumbens* e o *Melinis minutiflora*. Nas áreas brejosas, a cobertura herbácea é composta predominantemente pela *Typha domingensis* (Figura 23) e pelo *Polygonum ferrugineum* (SUDECAP-PBH, 2015).

Figura 23: Banco monoespecífico de macrófita aquática inicial (*Typha domingensis*) localizado na enseada do Zoológico.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

### 5.3.5 Macrófitas

Destaca-se a diversidade de macrófitas presentes no ambiente, suas propriedades e relações com os sedimentos do reservatório da Pampulha. O Plano de Manejo de Macrófitas (SUDECAP-PBH, 2013) elaborado durante o Monitoramento Ambiental do desassoreamento do reservatório no biênio 2013-2014, descreve tal ocorrência da seguinte maneira.

Para a lista florística foram inseridas, além das plantas aquáticas tradicionais, espécies anfíbias ou oportunistas que compõe o componente lenhoso dos bancos de macrófitas consolidados. Foram identificadas 18 espécies distribuídas em 15 famílias, conforme apresentado no Quadro 1. Nesse agrupamento os hábitos descritos são:

- *Emergentes* (plantas herbáceas enraizadas no sedimento e com as folhas projetadas acima da lâmina d'água);
- *Emergentes lenhosas* (plantas lenhosas enraizadas no sedimento e com as folhas projetados acima da lâmina d'água);
- *Flutuante livre* (plantas herbáceas flutuantes, livre nadantes, sem enraizamento no sedimento);
- *Flutuante fixa* (plantas herbáceas flutuantes, fixas, enraizadas no sedimento e com as folhas na lâmina d'água);
- *Oportunista* (plantas lenhosas arbustivas, não necessariamente higrofilicas, enraizadas no sedimento, compondo a primeira linha da colonização por plantas tipicamente de terra firme).

Dentre as 18 espécies, 6 plantas apresentam potencial invasivo ou já estão em franco processo de invasão. Nesse último cenário citam-se as espécies *Commelina cf schomburgkiana*, *Polygonum ferrugineum Wedd* e *Typha domingensis* todas as espécies de hábito emergente.

Quadro 1: Lista de macrófitas aquáticas e plantas associadas ao ecossistema

Família	Espécie	Nome Popular	Hábito	Potencial Invasivo	Potencial Fitodepurante
Alismataceae	<i>Sagittaria montevidensis Cham. &amp; Schldl.</i>	Chapeu de couro	Emergente		
Araceae	<i>Pistia stratiotes L.</i>	Alface d'água	Flutuante livre	X	X
Asteraceae	<i>Vernonia polyanthes Less</i>	Assa Peixe	Oportunista		
Comelinaceae	<i>Commelina cf schomburgkiana Klotzsch</i>	Santa Luzia	Emergente	X	
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Soják</i>	Junco navalha	Emergente		
Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis L.</i>	mamona	Oportunista		
Fabaceae	<i>Sesbania virgata (cav.) pers.</i>	Dormideira	Emergente lenhosa		



Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lan) de Wit	leucena	Oportunista		
Haloragaceae	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	Pinheirinho d'água	Flutuante fixa		
Ongraceae	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) P.H.Raven	Ludwigia	Emergente		
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus</i> sp L.	Corticina	Emergente		
Polygonaceae	<i>Polygonum ferrugineum</i> Wedd.	Fumo bravo	Emergente	X	
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Aguapé	Flutuante livre	X	X
Pontederiaceae	<i>Heteranthera reniformis</i> Ruiz & Pav.	Aguapé	Flutuante fixa		
Salviniaceae	<i>Salvinia cf auriculata</i> Aubl.	Orelha-de-onça	Flutuante livre	X	X
Scophulariaceae	<i>Bacopa salzmannii</i> (Benth.) Wettst. Ex Edwall	Bacopa	Flutuante fixa		
Thelypteridaceae	<i>Thelypteris</i> <i>interrupta</i> (Willd.) K. Iwats.	Samambaia	Emergente		
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> Pers.	Taboa	Emergente	X	
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>18</b>		<b>6</b>	<b>3</b>

Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Segundo a Comissão Nacional de Biodiversidade (CONABIO), órgão vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, espécies invasoras são “espécies que, introduzidas fora da sua área de distribuição natural, ameaçam ecossistemas, habitats ou outras espécies. Possuem elevado potencial de dispersão, de colonização e de dominação dos ambientes invadidos, criando, em consequência desse processo, pressão sobre as espécies nativas, ou que impacta negativamente a sociedade, a economia ou o ambiente (ecossistemas, habitats, espécies ou populações)”.

Ainda segundo a mesma fonte, “Nos ambientes aquáticos, destacam-se as macrófitas que causam inúmeros problemas para os diversos usos da água em diferentes regiões do país. Os problemas envolvem desde o acúmulo de lixo e outros sedimentos até a proliferação de vetores patogênicos, além das dificuldades relacionadas à navegação, à geração de energia, à distribuição de água às populações humanas, à irrigação, à recreação e à pesca, com prejuízos ao turismo regional, bem como perda de receita e empobrecimento dos municípios”.

Fitodepuração é um processo amplamente divulgado no tratamento de água, descrito como a utilização de plantas aquáticas para atenuar agentes

poluentes oriundo de esgotos domésticos e industriais, resultando em melhoria da qualidade da água enquanto as plantas se desenvolvem. Em termos práticos significa a redução das concentrações de nutrientes, matéria orgânica, indicadores microbiológicos de poluição, sedimentos em suspensão e até metais pesados. Essas facultades são garantidas pelas características de intensa absorção de nutrientes e pelo rápido crescimento dessas plantas, como também por oferecer facilidades de suas retiradas das lagoas e ainda pelas amplas possibilidades de aproveitamento da biomassa colhida (GRANATO, 1995).

Considerando a dinâmica sucessional de ecossistemas lacustres, tendo como fase inicial a colonização de macrófitas, em tese, pode-se considerar que todo ambiente lêntico está fadado a se tornar um ecossistema terrestre. Sua vida útil está condicionada aos fatores que contribuem para a transição de sistemas aquáticos para sistemas terrestres. Portanto, as transformações e os estágios de degradação podem ocorrer em maior ou menor espaço e tempo, conforme forem as características do reservatório e as influências da sua bacia de contribuição. Em reservatórios urbanos este processo pode ser mais acelerado, demandando cuidados quanto a sua manutenção e ações integradas no âmbito da bacia hidrográfica. Técnicas utilizando o potencial fitodepurante de determinadas espécies de macrófitas, podem ser viabilizadas para manipulação e preservação controlada de zonas litorâneas do reservatório.

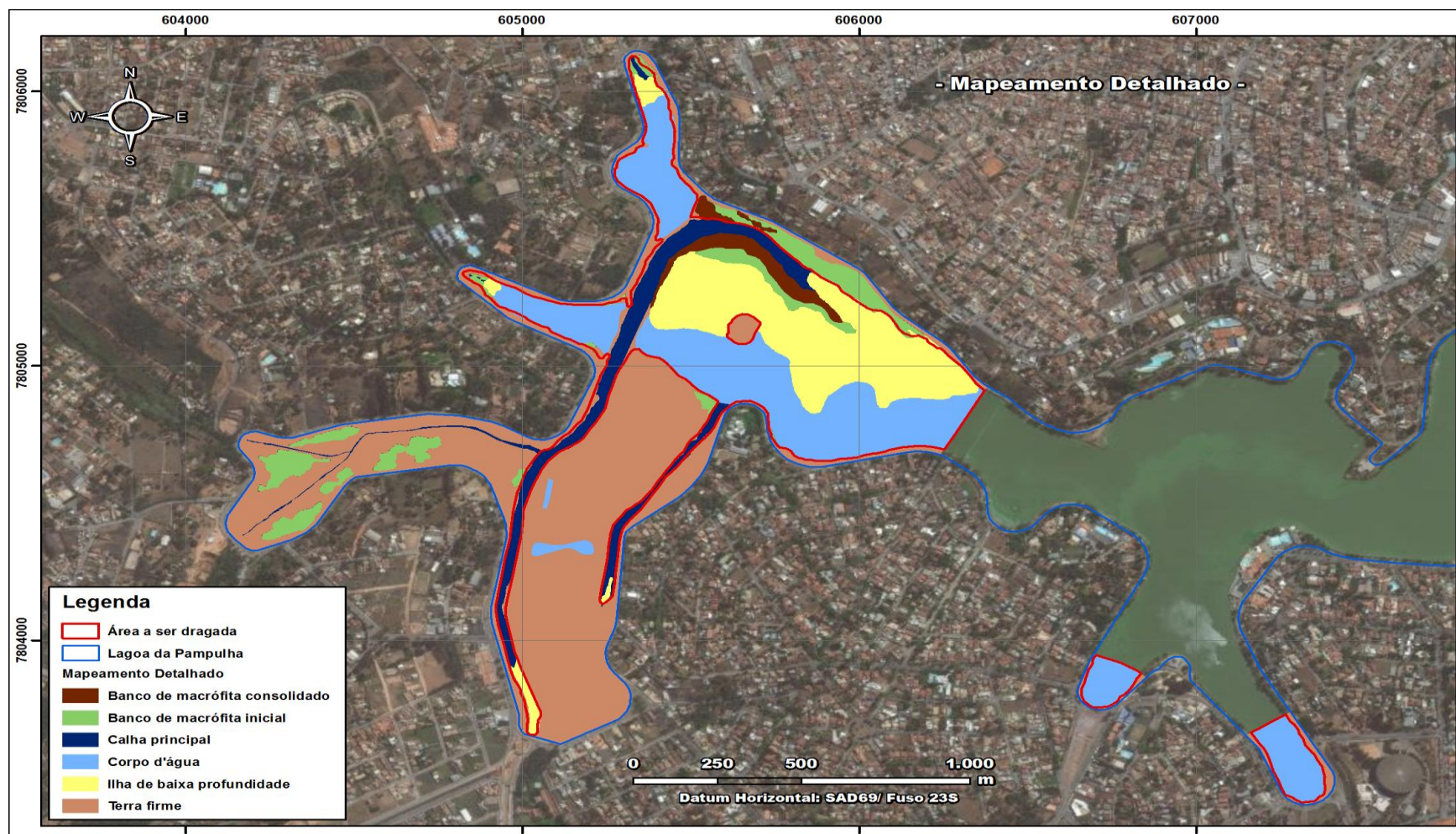
Antes de iniciarem os serviços de desassoreamento do reservatório no biênio 2013-2014, foi elaborado um mapeamento buscando-se qualificar e quantificar as áreas da represa, que seriam interferidas pela dragagem ou mantidas preservadas. Tal mapeamento ilustrado na Figura 24, apresenta as áreas de ilhas de baixa profundidade e os bancos de macrófitas, tendo em vista a implantação de ações contempladas no plano de manejo. A Tabela 3 demonstra os quantitativos das áreas mapeadas.

Tabela 3: Quantificação de áreas a serem dragadas e áreas remanescentes.

Tipologia	Área (ha)		
	Dragadas	Remanescentes	Total
Banco de macrófita consolidado	2,8576	0,6558	3,5134
Banco de macrófita inicial	2,1883	8,4651	10,6534
Calha principal	10,2496	0,725	10,9746
Corpo d'água	35,9453	1,0277	36,973
Ilha de baixa profundidade	25,3554	0,2318	25,5872
Terra firme	2,3631	70,8751	73,2382
<b>Total</b>	<b>78,9593</b>	<b>81,9805</b>	<b>160,9398</b>

Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Figura 24: Mapeamento de ilhas de baixa profundidade e ecossistemas associados.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

### 5.3.6 Qualidade da Água

Os resultados do Biomonitoramento Ecotoxicológico, componente do Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas e Peixes realizado durante o desassoreamento biênio 2013-2014, refletem a condição ambiental do reservatório. O trabalho foi um dos mais intensivos estudos realizados na represa da Pampulha, cujo monitoramento abrangeu um importante conjunto de variáveis de interesse, com campanhas diárias, mensais e bimestrais.

Os parâmetros amostrados neste monitoramento possibilitaram avaliar os efeitos das intervenções do desassoreamento e os sinais de degradação ambiental pré-existentes no reservatório, corroborando com as evidências de impactos que o ambiente está submetido desde as últimas décadas.

As elevadas concentrações de nutrientes, como o fósforo total e nitrogênio, análises do fitoplâncton e zooplâncton, variáveis como clorofila-a, DQO, metais traço, sólidos totais e a turbidez demonstraram e comprovaram a condição de hipertrofia que domina a represa da Pampulha durante a maior parte do ano.

O sedimento é um importante indicador de poluição dos sistemas aquáticos, pois são resultantes de todos os processos que ocorrem no ecossistema (ESTEVES, 1998). Durante a ciclagem de matéria, o sedimento é capaz de acumular xenobióticos, além de serem reconhecidos como transportadores e possíveis fontes de contaminação da água e outros sistemas ambientais, levando à bioacumulação de transferência na cadeia trófica (ROBERGE & BARREIRA, 2001, JESUS et al., 2003).

Estudos limnológicos em reservatórios tropicais apontam que quantidades expressivas de nutrientes são acumuladas tanto na biota aquática, como nos sedimentos do leito (PINTO-COELHO et al., 2012). Perturbações no sedimento podem causar a liberação de metais para a coluna d' água (OLIVEIRA & MARINS, 2011). Portanto, o monitoramento da coluna d'água durante as operações da dragagem é primordial para analisar as alterações causadas pelo revolvimento do material do leito dos reservatórios.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi desenvolvido em 1970 pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos. Ele representa as condições de qualidade da água através do produtório dos valores ponderados de nove parâmetros preestabelecidos (coliformes termotolerantes, total, fósforo total, temperatura, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido).

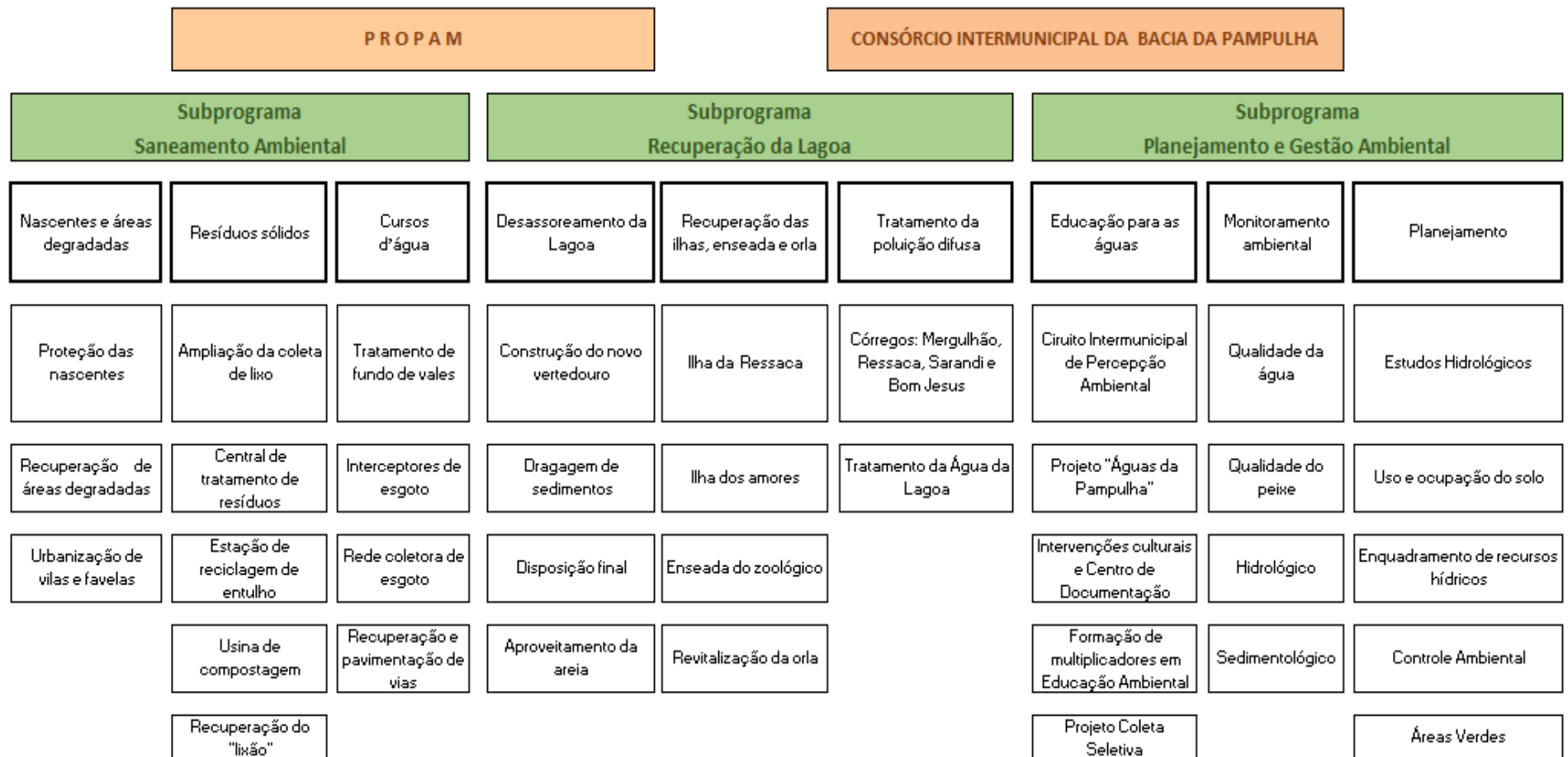
Os resultados numéricos obtidos são associados a faixas de valores que indicam classes de qualidade (Ótima, Boa, Regular ou Aceitável, Ruim e Péssima). Historicamente, dados de monitoramento do IGAM indicam a predominância de IQA ruim, refletindo desta forma o conhecido quadro de degradação da qualidade das águas no reservatório da Pampulha. Os principais parâmetros responsáveis pelos baixos valores do IQA são os nutrientes, coliformes termotolerantes e DBO.

Conforme a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 001/08, o reservatório da Pampulha é caracterizado nas águas de Classe 4, representando a pior classificação de qualidade da água desta legislação. *“Classe 4: Águas que podem ser destinadas: a) a navegação; b) a harmonia paisagística; e c) aos usos menos exigentes.”*

Em 27 de setembro de 1998, após entendimentos técnicos e políticos, firmou-se uma parceria entre as prefeituras de Belo Horizonte e Contagem com o objetivo de desenvolver um programa conjunto que atendesse às necessidades da Pampulha. Dessa parceria nasceram o Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha – PROPAM e o Consórcio de Recuperação da Bacia da Pampulha.

O esquema apresentado na Figura 25 apresenta os sub-programas do PROPAM e suas respectivas ações integradas no âmbito da bacia hidrográfica da Pampulha.

Figura 25: Sub-programas do PROPAM



Fonte: PROPAM, 2016.

O Consórcio de Recuperação da Bacia Pampulha, fundado em 28 de fevereiro de 2000, entidade civil de direito privado sem fins lucrativos, busca a preservação e desenvolvimento ambiental da Bacia Hidrográfica da Pampulha. Trata-se de uma organização intermunicipal que, além das prefeituras de Belo Horizonte e Contagem, conta também com a participação de empresas públicas e privadas, universidades, associações de moradores e ONGs.

Visando preparar as duas cidades para a Copa das Confederações em 2013 e Copa do Mundo de futebol em 2014, as ações do Consorcio de Recuperação da Bacia da Pampulha se tornaram mais expressivas. Tais ações e programas baseiam-se em:

- Controle de focos erosivos e identificação de bota-foras clandestinos através das patrulhas ambientais;
- Incentivo a criação e manutenção de áreas de preservação ambiental;
- Monitoramento da qualidade das águas da lagoa e afluentes;
- Formulação de políticas públicas, captação de recursos, apoio e acompanhamento a implantação de ações conjuntas na Bacia;
- Planejamento para a proteção das nascentes e outros;
- Educação Ambiental, incluindo a realização de circuito intermunicipal de percepção ambiental, exposição itinerante e realização do concurso de redação e desenhos “Prêmio Águas da Pampulha”.

No decorrer do desassoreamento do reservatório da Pampulha, executada no biênio 2013/2014, foi realizada uma série de programas e contrapartidas ambientais exigidos no licenciamento ambiental do empreendimento, os quais possuem relação direta com os subprogramas do PROPAM. Dentre eles, podemos elencar as ações de maior relevância que compuseram o Monitoramento Ambiental dos serviços:

- Programa de Educação Ambiental e Comunicação Social;
- Programa de Monitoramento de Fauna;
- Plano de Manejo de Macrófitas;
- Plano de Manejo de Ilhas de Baixa Profundidade;
- Plano de Manejo de Moluscos de Interesse Sanitário;
- Programa de Resgate de Fauna;



- Caracterização dos sedimentos dragados e devida destinação final do material;
- Monitoramento do Aterro adotado para recebimento dos sedimentos dragados;
- Levantamento da flora suprimida e mitigações de possíveis impactos nos segmentos faunísticos;
- Plano de Recuperação das Áreas Degradadas nas áreas de operação da obra;
- Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas e Peixes;
- Dentre outras ações de gestão de resíduos sólidos, efluentes líquidos, consentimento de órgãos públicos (FZB-BH, IPHAN, IEPHA), batimetrias, garantia de dragagens de manutenção (anual), etc.

Neste contexto, as ações do PROPAM vêm sendo implantadas através de investimentos da Prefeitura de Belo Horizonte, tendo em vista a melhoria da qualidade da água do reservatório, conforme as disposições da Resolução CONAMA nº 357 de 2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 001/08. Apresenta-se como lógica a necessidade do estabelecimento de metas progressivas (etapas a serem cumpridas em associação com os usos desejados). A referida legislação indica a conveniência da fixação e controle de metas visando atingir gradativamente os objetivos propostos. Atualmente, o objetivo buscado pela Prefeitura de Belo Horizonte, visa atingir a qualidade da água compatível com o exercício de recreação de contato secundário (sem contato direto com a água, como por exemplo, pesca, remo e vela) e com os atributos de harmonia paisagística, ou seja, enquadrar a água do reservatório na Classe 3, segundo as referidas legislações. A seguir, são apresentados os usos destinados para a Classe 3, segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 001/08.

*“Classe 3: Águas que podem ser destinadas:*

*a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;*

- b) a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;*
- c) a pesca amadora;*
- d) a recreação de contato secundário; e*
- e) a dessedentação de animais.”*

O desassoreamento realizado no biênio 2013-2014 cumpriu com os seus objetivos imediatos de redução do volume assoreado, redução da fertilização interna e remoção de metais traço presentes no sedimento. Os efeitos destes fatores proporcionam a redução da produção primária, aumento da transparência, modificação na composição do fitoplâncton, melhorias na hidrodinâmica, redução dos riscos de contaminação da biota, sendo estes fatores contribuintes para a melhoria ambiental e aumento da vida útil do reservatório.

Embora inúmeras ações no âmbito da bacia hidrográfica vêm sendo implantadas para a recuperação ambiental do reservatório da Pampulha, ainda notam-se indícios de um assoreamento significativo perante os usos vislumbrados para a água da represa, fato evidenciado na análise dos resultados deste trabalho. Pressupõe-se que as causas deste processo demandam a permanência e a incrementação das ações a montante do reservatório, bem como manutenções periódicas em pontos estratégicos dos seus principais tributários.

Sobretudo, o reservatório ainda demonstra um caráter de hipertrofia e a existência de contaminação ambiental, indicando que as ações de recuperação ambiental no âmbito da bacia hidrográfica da Pampulha, devam ser continuadas como alvos prioritários da gestão pública.

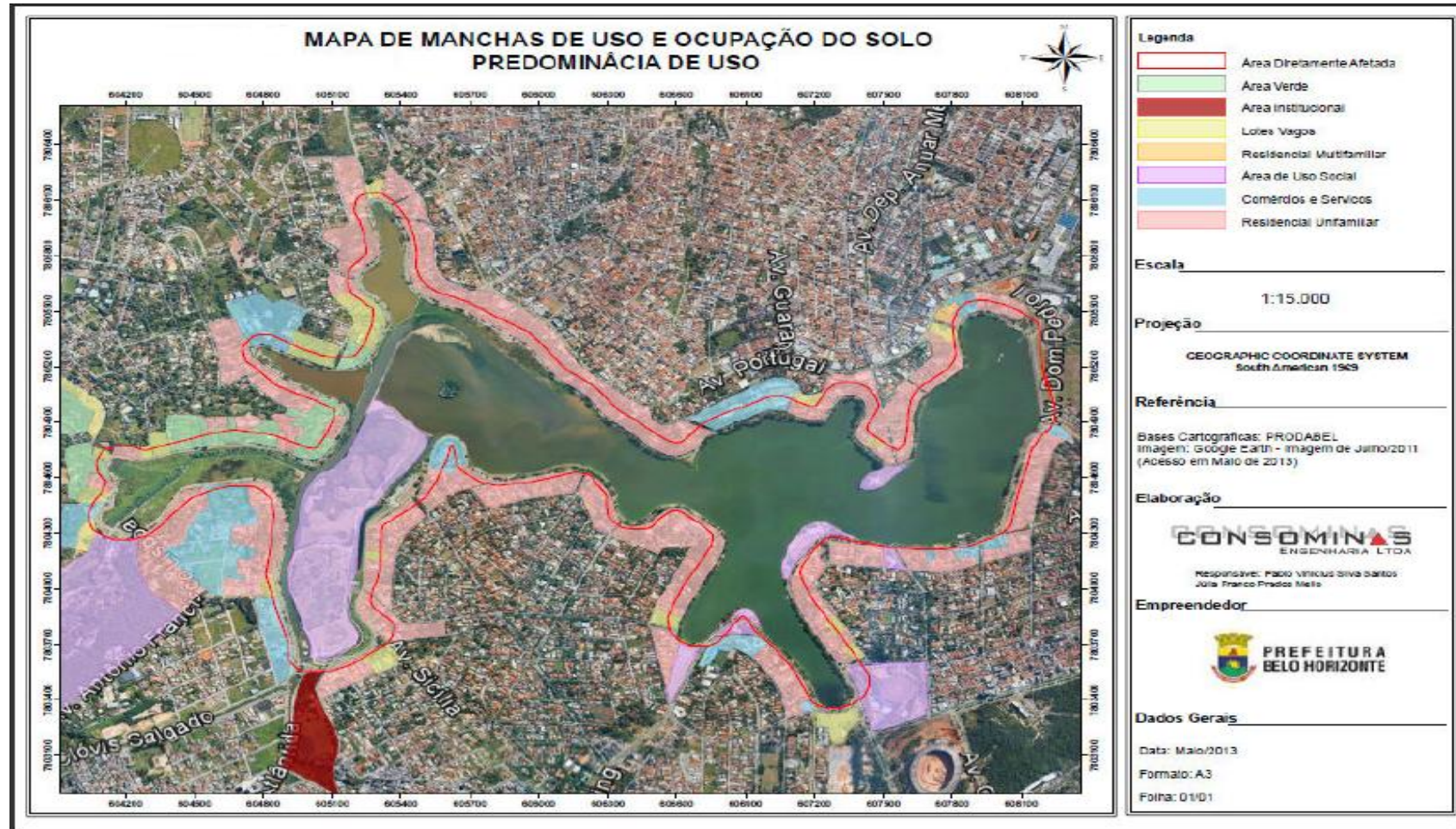
### 5.3.7 Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo nos arredores dos 18 quilômetros de orla do reservatório da Pampulha é marcado predominantemente por residências unifamiliares, alguns comércios e restaurantes, equipamentos públicos e áreas de uso social, como parque, zoológico, estádios, clubes, pista de cooper, ciclovia, igreja e museus, dentre os quais compõem o conjunto arquitetônico da Pampulha.

O conjunto arquitetônico projetado na orla do reservatório não apenas se tornou uma referência, como influenciou a arquitetura moderna brasileira. Compõem este conjunto: a Igreja de São Francisco de Assis, o Museu de Artes da Pampulha, a Casa do Baile e o Iate Tênis Clube. Os jardins de Burle Marx, a pintura de Cândido Portinari, os azulejos de Paulo Wernek, e as esculturas de Ceschiatti, Zamoiski e José Pedrosa completam e valorizam, ainda mais, o conjunto urbanístico da orla do reservatório.

As imediações do reservatório da Pampulha são identificadas por características típicas do local, como ruas retas e longas, áreas verdes, lotes extensos, casas com um ou vários pavimentos, algumas com alto padrão construtivo, se contrastando com outras mais inferiores. A pouca opção de comércios entre as residências e o aparente isolamento dos moradores em algumas regiões, tornam as ruas dos bairros relativamente desertas. A Figura 26 apresenta estas características da orla e arredores do reservatório, em análise elaborada para o Estudo de Impacto Ambiental vinculado a Recuperação da Qualidade da Água do Reservatório da Pampulha (Consominas Engenharia Ltda., 2013).

Figura 26: Mapa de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da Pampulha



Fonte: Consominas Engenharia Ltda., 2013.

De acordo com Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo – LPOUS n.º 7.166/96 e suas revisões – Lei n.º 8.137/00 e Lei n.º 9.959/10, as áreas confrontantes e imediações do reservatório da Pampulha estão inseridas em uma Área de Diretriz Especial e em sete zoneamentos, quais sejam: ZAP - Zona de Adensamento Preferencial, ZAR-2 - Zona de Adensamento Restrito, ZE – Zona de grandes equipamentos, ZEIS-1- Zona Especial de Interesse Social , ZP-1- Zona de Proteção 1, ZP-2 – Zona de Proteção 2, ZPAM - Zona de Preservação Ambiental e ADE-3 – Área de Diretriz Especial da Pampulha, ADE Trevo e ADE Interesse Ambiental.

O zoneamento urbanístico em vigor para o entorno imediato do reservatório é predominantemente ZP-2 – Zona de Proteção, 2 além de uma pequena parte que se encontra inserida em ZPAM – Zona de Preservação Ambiental, ZP-1- Zona de Proteção 1 e ZE – Zona de grandes Equipamentos, conforme as seguintes descrições extraídas da lei:

*Art. 7º - São ZPs as regiões sujeitas a critérios urbanísticos especiais, que determinam a ocupação com baixa densidade e maior taxa de permeabilização, tendo em vista o interesse público na proteção ambiental e na preservação do patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico, e que se subdividem nas seguintes categorias:*

*I - ZP-1, regiões, predominantemente desocupadas, de proteção ambiental e preservação do patrimônio histórico, cultural, arqueológico ou paisagístico ou em que haja risco geológico, nas quais a ocupação é permitida mediante condições especiais;*

*II - ZP-2, regiões, predominantemente ocupadas, de proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística ou em que existam condições topográficas ou geológicas desfavoráveis, onde devem ser mantidos baixos índices de densidade demográfica;*

*(...)*

*Art. 6 - São ZPAMs as regiões que, por suas características e pela tipicidade da vegetação, destinam-se à preservação e à recuperação de ecossistemas, visando a:*

*I - garantir espaço para a manutenção da diversidade das espécies e propiciar refúgio à fauna;*

*II - proteger as nascentes e as cabeceiras de cursos d'água;*

*III - evitar riscos geológicos.*

*Parágrafo único - É vedada a ocupação do solo nas ZPAMs, exceto por edificações destinadas exclusivamente ao seu serviço de apoio e manutenção;*

*Para empreendimentos ou intervenções no reservatório as ZPAMs visam a:*

*Garantir espaço para a manutenção da diversidade das espécies e propiciar refúgio à fauna;*

*Proteger as nascentes e as cabeceiras de cursos d'água;*

*(...)*

*Art. 13 - São ZEs as regiões ocupadas por grandes equipamentos de interesse municipal ou a eles destinadas.*

*1º - A lei que estabelecer novas ZEs deve fixar os parâmetros urbanísticos a que estarão sujeitas.*

*2º - Passam os terrenos de propriedade pública situados na ZE, quando alienados, a ser classificados sob o zoneamento que, dentre os lindeiros, ocupe maior extensão limítrofe.*

*(...)*

*Art. 75 - As áreas de diretrizes especiais - ADEs - são as que, por suas características, exigem a implementação de políticas específicas, permanentes*

*ou não, podendo demandar parâmetros urbanísticos, fiscais e de funcionamento de atividades diferenciados, que se sobrepõem aos do zoneamento e sobre eles preponderam*

*Art. 77 - A ADE da Bacia da Pampulha compreende a área da bacia hidrográfica da lagoa da Pampulha situada no Município, estando sujeita, em função da preservação ambiental da lagoa, a diretrizes especiais de parcelamento, ocupação e uso, de movimentação de terra e de recuperação de áreas erodidas, degradadas ou desprovidas de cobertura vegetal.*

*Art. 71 Parágrafo único - A taxa de permeabilização mínima da ADE da Bacia da Pampulha é de 30% (trinta por cento) (NR).*

*De acordo com a Lei 7166/96, art. 91- A ADE Trevo é destinada a estabelecer condições especiais de ocupação e uso, de forma a garantir e a preservar a paisagem das proximidades da lagoa da Pampulha, criando alternativa de ocupação e mantendo a predominância do uso residencial da região até que seja aprovado o plano global previsto no Plano Diretor.*

*§ 1º - As edificações da ADE Trevo devem obedecer aos seguintes parâmetros:*

*I - taxa de ocupação máxima de 50% (cinquenta por cento);*

*II - afastamento frontal mínimo de 5,00 m (cinco metros);*

*III - afastamentos laterais e de fundo mínimos de 1,50 m (um metro e cinquenta centímetros);*

*IV - taxa de permeabilização mínima de 30% (trinta por cento);*

*V - quota de terreno por unidade habitacional de 120 m<sup>2</sup> (cento e vinte metros quadrados);*

*VI - altura máxima na divisa de 9,00 m (nove metros), contados a partir do nível médio do alinhamento.*

§ 2º - Podem ser instalados condomínios residenciais na ADE Trevo, desde que cada unidade respeite os parâmetros definidos no parágrafo anterior.

Lei nº 9.037/05 o art. 20-A e o parágrafo único do art. 26, respectivamente:

“Art. 20-A - Podem ser instalados na ADE Trevo, desde que adequadamente solucionado o esgotamento sanitário na região, em conformidade com o adensamento resultante, equipamentos de uso público e edificações relativas a programas de habitação de interesse social, limitada a 12 m (doze metros) a altura das edificações e respeitando-se a quota mínima de terreno por unidade habitacional de 60 m<sup>2</sup> (sessenta metros quadrados).

(...)

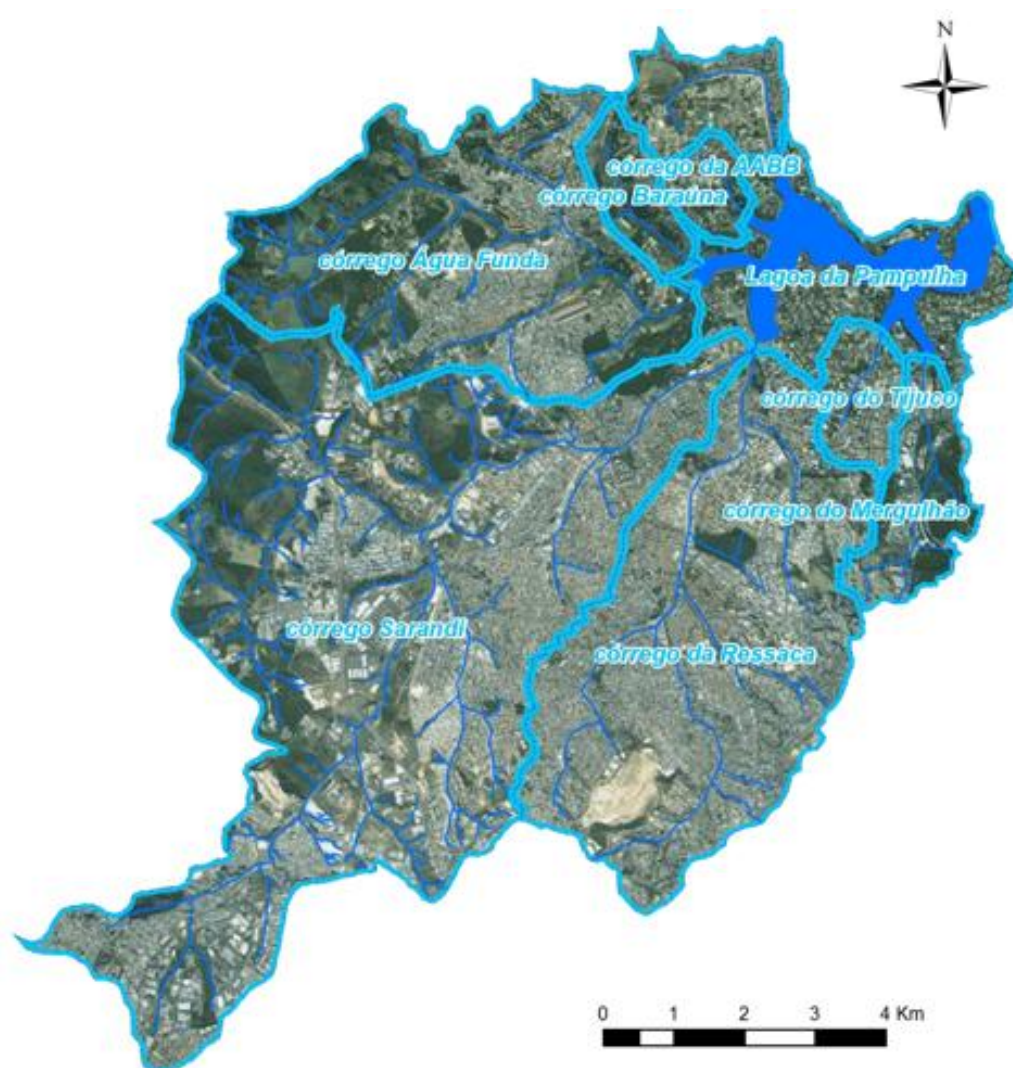
Já o território da bacia hidrográfica da Pampulha está sujeito a diversos usos do solo, remetendo sérias pressões nos recursos hídricos, cujos sintomas são refletidos diretamente no reservatório. Usos marcados por distritos industriais, zonas de adensamento populacional, ocupações ribeirinhas, focos de erosão, “bota-foras” clandestinos, dentre outros, demandam ações integradas de planejamento, gestão e fiscalização.

Segundo dados do Censo Demográfico de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a Região Administrativa da Pampulha de Belo Horizonte possui uma população residente de 226.110 pessoas. Dados publicados pela Prefeitura de Belo Horizonte, com base na projeção PBH/IBGE do ano 2.000, de 3,38 %/ano, a Pampulha foi a região considerada de maior crescimento demográfico do município de Belo Horizonte. Tal fato remete a transformação da ocupação do território da região, envolvendo a construção e verticalização de residências, comércios, aglomerados, etc.

A Figura 27 demonstra as áreas urbanizadas da bacia hidrográfica da Pampulha representadas em tom de cinza, em contraste com as áreas verdes e com a malha hidrográfica do seu território.



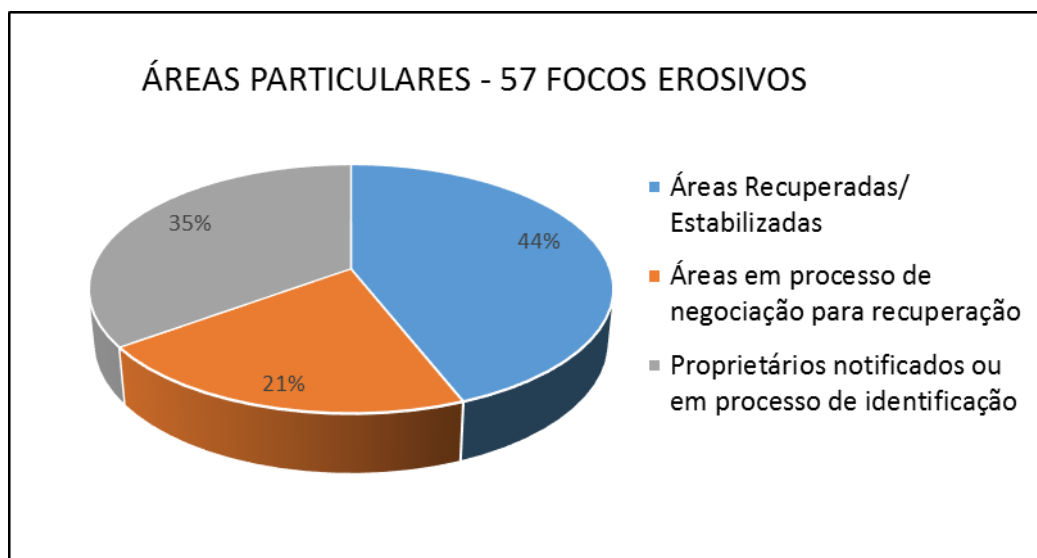
Figura 27: Urbanização da Bacia Hidrográfica da Pampulha



Fonte: PROPAM, 2016.

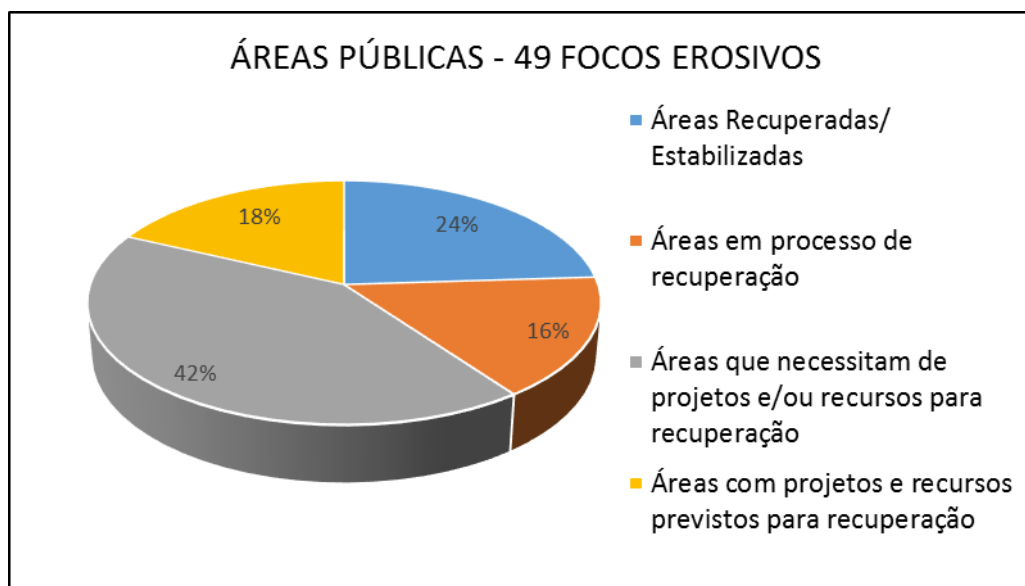
Dados disponibilizados pelo Consórcio de Recuperação da Bacia da Pampulha, alertam sobre os cenários de degradação ambiental que implicam, sobretudo, nas causas do assoreamento do reservatório. Desde o ano 2000, o Consórcio vem monitorando 106 focos erosivos, sendo 40 % em Contagem e 60 % em Belo Horizonte, aproximadamente. Dos processos erosivos identificados, 57 se desencadearam em áreas particulares, e 49 em áreas públicas. O Gráfico 1 e o Gráfico 2 demonstram o status destes locais, onde é possível verificar a estabilização de uma parcela das erosões e outra ainda carente de ações e recursos para recuperação ambiental das áreas.

Gráfico 1: Status de focos erosivos em áreas particulares



Fonte: PROPAM, 2016.

Gráfico 2: Status de focos erosivos em áreas públicas



Fonte: PROPAM, 2016.

A Figura 28 apresenta uma erosão desenvolvida nas margens do canal canalizado de um dos afluentes do Córrego Ressaca, registrada em março de 2014. Nota-se um processo de solapamento danificando a estrutura de concreto do canal, com tendências de atingir o asfalto da Av. Tancredo Neves, em Belo Horizonte.

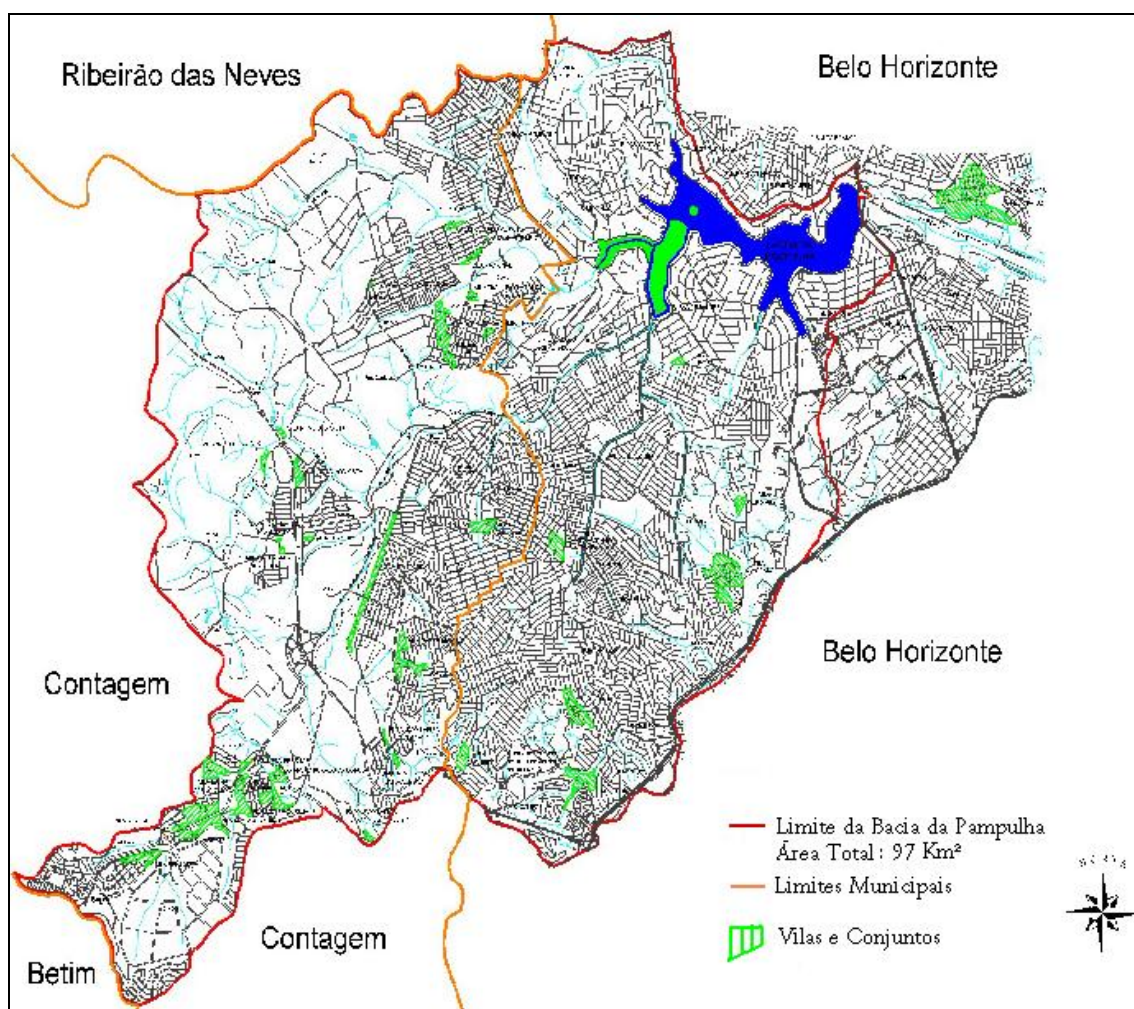
Figura 28: Erosão na margem do afluente do Córrego Ressaca



Fonte: Autor, 2014.

Para além dos focos erosivos, dados do Consórcio de Recuperação da Bacia da Pampulha, apontam outras situações de degradação monitoradas pelo seu corpo técnico, tais como: contaminação das águas através de efluentes líquidos, redução da cobertura vegetal (áreas verdes), danos às nascentes e “bota-foras”, muitas vezes associados as vilas e ocupações irregulares, como é o caso da ocupação denominada Dandara, localizada ao final da Avenida Francisco Negrão de Lima, em áreas de nascentes da sub bacia do Córrego Olhos D’água. Já na porção da bacia de Contagem, a micro bacia do Córrego Tapera merece destaque por ser apontada em estudos da CPRM como a principal área de recarga da sub bacia do Córrego Sarandi. O local vem passando por inúmeras movimentações de terra, o que desperta uma alerta sobre o carreamento de sedimentos pelo maior contribuinte do reservatório. A Figura 29 apresenta a localização e vilas e conjuntos em áreas da bacia hidrográfica da Pampulha.

Figura 29: Localização de vilas e conjuntos na bacia hidrográfica da Pampulha



Fonte: PROPAM, 2016.

Informações disponibilizadas pela SUDECAP-PBH e PROPAM, apontam a execução de algumas das principais obras que envolveram movimentações de terra significativas, inclusive no período entre as batimetrias estudadas neste trabalho. Tais obras merecem destaque quando associadas com a produção de sedimentos na bacia hidrográfica, e seus reflexos no assoreamento do reservatório da Pampulha.

O carreamento de sedimentos é um efeito típico de obras onde há supressão de vegetação, exposição e movimentação do solo e estoques de materiais agregados. Este é um aspecto relevante nos estudos de impactos e no gerenciamento de obras, buscando-se evitar danos ambientais e os desperdícios de materiais.

A Figura 30 apresenta a imagem de obras de movimentação de terra executadas em 2002 no Distrito Industrial de Contagem, esta que foi considerada pelo PROPAM umas das áreas suscetíveis a erosão na bacia hidrográfica da Pampulha.

Figura 30: Obras de movimentação de terra no Distrito Industrial do município de Contagem executadas em junho de 2002



Fonte: PROPAM, 2016.

A Figura 31 apresenta imagens da execução das obras do Shopping Contagem, localizado nas margens do Córrego Sarandi, próximo à divisa com o município de Belo Horizonte. A obra foi executada em área de 136.000 m<sup>2</sup>, no período entre o mês de novembro de 2012 e novembro de 2013, aproximadamente.

Figura 31: Execução das obras do Shopping Contagem



Fonte: <http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=8263>

A Figura 32 e a Figura 33 apresentam a imagem e localização de obras de tratamento de fundo de vale atualmente executadas no canal do Córrego Ressaca, iniciadas em abril de 2015. O empreendimento envolveu a ampliação da seção do canal do córrego Ressaca (cerca de 1.100 m), substituição de pontes, melhoria da confluência do córrego Ressaca com os córregos Flor d'água e Sarandi e compreendeu várias intervenções estruturantes nos dispositivos de drenagem existentes nas Bacias dos córregos Ressaca e Sarandi, desde a confluência com a Avenida Presidente Tancredo Neves até o deságue na Lagoa da Pampulha. As intervenções diretas nos leitos ou margens de cursos d'água da bacia são potenciais influências no carreamento de sedimentos para o reservatório da Pampulha.

Figura 32: Obras de tratamento de fundo de vale executadas no canal do Córrego Ressaca



Fonte: Autor, 2016.

Figura 33: Localização das obras de tratamento de fundo de vale em execução no canal do Córrego Ressaca



Fonte: Plano de Controle Ambiental das Intervenções no Canal do Córrego Ressaca e áreas do entorno. (MYR Projetos Sustentáveis, 2009)

## 5.4 Plano de Dragagem

O desassoreamento do reservatório da Pampulha realizado no biênio 2013-2014 foi executado seguindo um plano de dragagem elaborado pela executora dos serviços.

A dragagem consistiu na retirada de materiais orgânicos e inorgânicos sedimentados, carregados ao longo dos anos pelos oito cursos d'água afluentes da represa.

Basicamente, o plano contemplou o escopo dos serviços, técnicas e equipamentos empregados, alturas das lâminas d'água e volumes de sedimentos por áreas dragadas, cronograma de execução, dentre outros procedimentos e precauções para a operação. As áreas foram distinguidas conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Volume das áreas dragadas no reservatório da Pampulha no biênio 2013-2014.

Área	Local	Altura da Lamina D'água (m)	Volume (In Situ) (m <sup>3</sup> )
1	Ilha dos Amores (Delta)	2,00	600.098, 50
2	Canal a jusante da ETAF	2,00	5.000,00
3	Canal do Córrego Sarandi	2,00	52.922,46
4	Enseada do Clube AABB	2,00	46.177, 50
5	Enseada das Garças	2,00	76.566,19
6	Enseadas da Praça dos Esportes e do Mineirão	2,00	20.000,00
TOTAL			800.764, 65

Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

O método de dragagem combinou equipamentos distintos e complementares, buscando-se promover a movimentação dos sedimentos com escavações diretas e dragagens a longa distância.

As escavadeiras anfíbias (Figura 34) foram utilizadas para dragagem de sedimentos nas áreas mais rasas, onde uma draga sobre balsa teria dificuldade de acesso e movimentação. É um equipamento que possibilita a operação com escavadeira hidráulica comum (com concha acoplada), e também a operação como equipamento de dragagem, utilizando bomba



hidráulica de sucção de até 300 m<sup>3</sup>/h de capacidade. As escavadeiras anfíbias operaram alternadamente com a draga, atingindo capacidades de até 5.000 m<sup>3</sup>/mês. Sua lança hidráulica com a concha e/ou bomba de dragagem alcançam juntas, 09 (nove) metros de comprimento. Os equipamentos se deslocavam longitudinalmente e o sedimento era bombeado através de tubulação, que transportava o material até as instalações de desidratação do mesmo.

Figura 34: Escavadeira anfíbia em operação na Enseada das Garças.



Fonte: Autor, 2014.

As dragas sobre balsas (Figura 35) foram utilizadas com tubulações de 8 e 14 polegadas, sendo equipamentos versáteis para a execução de cortes e sucções. Nas operações de bombeamento, estes equipamentos trabalham em qualquer profundidade, e atingiam capacidades de 300 m<sup>3</sup>/h e 900 m<sup>3</sup>/h.

Figura 35: Dragagem sobre balsa executando dragagem nas imediações da Ilha dos Amores



Fonte: SUDECAP-PBH, 2014.

O sedimento foi bombeado através de linhas de tubulações de recalque apoiadas em flutuadores, transportando o material até as instalações de desidratação. (Figura 36 e Figura 37).

Figura 36: Planejamento da locação das linhas de tubulações



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Figura 37: Descritivo das linhas de Dragagem

LOCAL	LINHA DE DRAGAGEM	VOLUME P/ DRAGAGEM (m3)	% VOLUME	LEGENDA
Enseada das Garças	Linha "1" de Dragagem	76.566,73	9,6%	
Enseada do Clube AABB	Linha "2" de Dragagem	46.177,50	5,8%	
Mineirão	Linha "3" de Dragagem	20.000,00	2,5%	
Ilha dos Amores	Linha "4" de Dragagem	590.098,50	73,7%	
Canal do Córrego Ressaca/Sarandi	Linha "5" de Dragagem	52.922,46	6,6%	
Canal ETAF	Linha "6" de Dragagem	15.000,00	1,9%	

Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

As instalações de desidratação, bem como as operações de transporte de sedimentos e decantação do efluente de retorno da dragagem, foram implantadas na Enseada do Zoológico. O assoreamento nesta enseada ainda se mostra em estágio avançado, tornando o ambiente quase todo terrestre e estável para as operações. Para a desidratação do material utilizou-se desarenadores, que também segregavam os resíduos sólidos presentes entre os sedimentos dragados (Figura 38). Durante as operações foi adotado também a prática de “tombos” nos sedimentos estocados no pátio, revirando o material até que ele apresentasse a desidratação ideal para o transporte.

Figura 38: Pátio de desidratação e carga de sedimentos dragados



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Complementarmente, foram instaladas bacias de decantação e vertedores para promover o devido descarte do efluente de retorno da dragagem (Figura 39 e Figura 40). Os vertedores eram direcionados para o Córrego Água Funda, um dos afluentes do reservatório da Pampulha.

Figura 39: Croqui das bacias de decantação na Enseada do Zoológico



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

Figura 40: Bacias de decantação em operação na Enseada do Zoológico



Fonte: SUDECAP-PBH, 2014.

Buscando-se maior produtividade do desassoreamento, durante os serviços foram mobilizados conjuntos de batelões (Figura 41), compostos por rebocadores, plataformas de escavação e escavadeiras terrestres. A plataforma continha uma caçamba com capacidade de armazenamento de 80 m<sup>3</sup> de sedimentos.

Figura 41: Conjunto Batelão em operação na foz do Córrego Sarandi

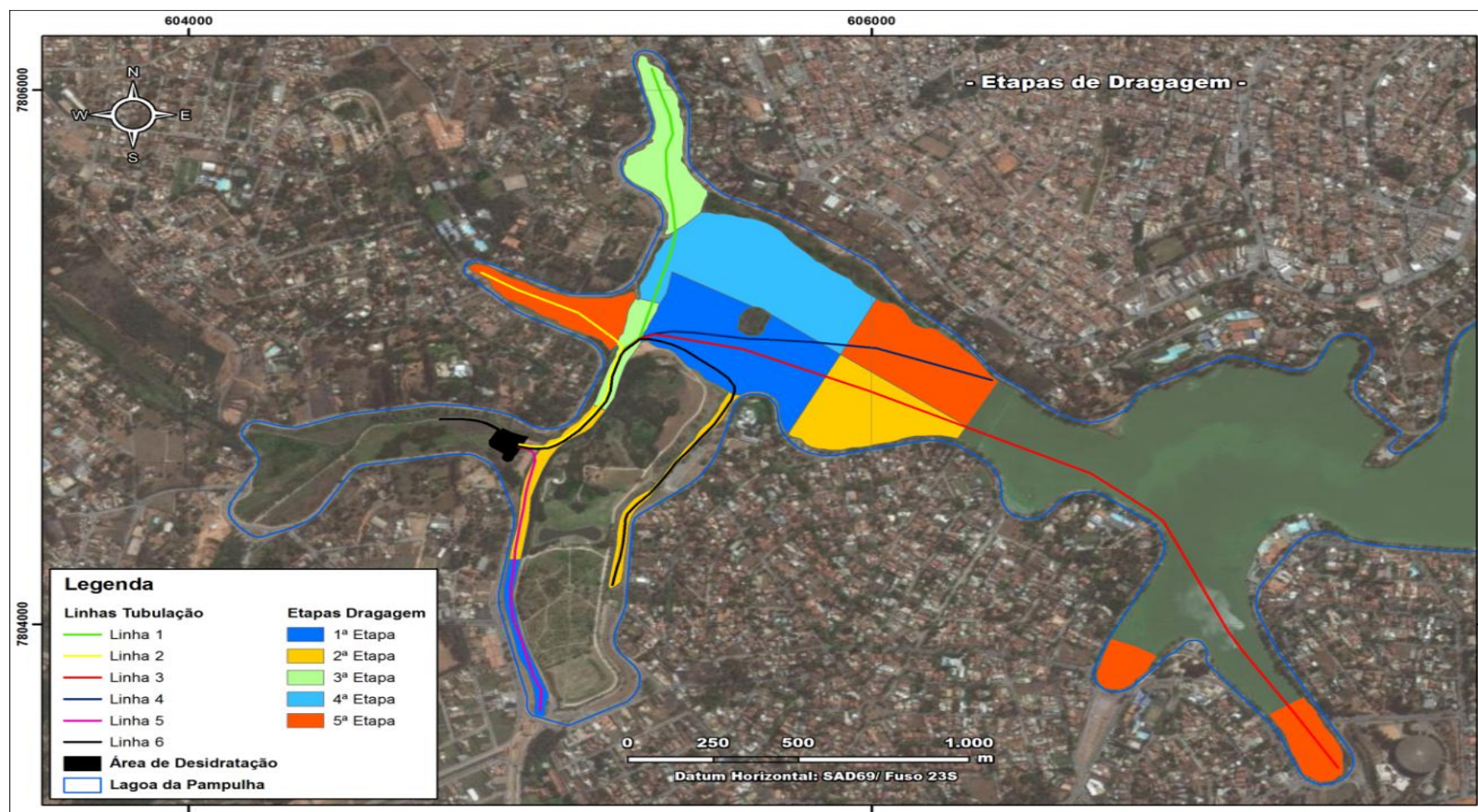


Fonte: SUDECAP-PBH, 2014

O sedimento dragado e desidratado foi transportado por caminhões de 12 a 14 m<sup>3</sup>, do pátio de desidratação até o aterro de disposição final do material.

A Figura 42 demonstra o planejamento das etapas de dragagem, com suas respectivas áreas e linhas de tubulações das dragas.

Figura 42: Planejamento das etapas de Dragagem



Fonte: SUDECAP-PBH, 2013.

## 5.5 Levantamentos Batimétricos

A batimetria (do grego *bathys*, profundo) consiste na determinação do relevo de fundo de um corpo d'água e de sua respectiva representação gráfica. Antigamente, eram usados alguns instrumentos simples para a medição de profundidade, como varas e cordas calibradas com pesos na extremidade. Atualmente são utilizadas embarcações providas de sensores (ecobatímetros), cujo princípio de funcionamento é baseado na propagação de ondas sonoras na água (emissão de sinais acústicos) (VON SPERLING, 2014).

Os levantamentos batimétricos realizados no reservatório da Pampulha durante o desassoreamento no biênio 2013-2014, ocorreram com o uso dos seguintes equipamentos:

- Estação Total com precisão mínima de 2 mm – alcance  $\geq$  2500 m;
- Ecobatímetro com precisão mínima de 1 cm;
- Base /Rover com coletor de dados e GPS (Sistema de Posicionamento Global);
- Nível “Wild” com precisão aproximada de 0,2 mm;
- Barco – 5,90 m – Motor 25 HP incluso e combustível.

Segundo dados da Supervisão de Obras da SUDECAP-PBH, o uso da Estação Total foi útil especialmente em baixas profundidades e nas ocasiões onde a coluna d'água apresentava maiores concentrações de sólidos em suspensão, fato típico de ocorrer após turbulências no leito do corpo d'água provocadas pela operação das dragas e escavadeiras.

Na medição batimétrica a embarcação segue as premissas de percorrer o reservatório com velocidade constante, seguindo linhas retas previamente determinadas, de forma a cobrir toda a extensão do corpo d'água (Figura 43).

Após finalizados os procedimentos de campo, as informações obtidas sobre as profundidades nos diversos pontos são convertidas em planilhas e representações gráficas, permitindo o conhecimento de parâmetros morfométricos e a confecção de ecogramas e mapas de isóbatas (linhas de

mesma profundidade). Atualmente, são disponíveis *softwares* que proporcionam, a partir dos dados batimétricos, a configuração tridimensional de todo o relevo do reservatório. O software utilizado para gerar os dados das batimetrias vinculadas ao desassoreamento do reservatório da Pampulha durante o biênio 2013-2014 foi o Eye4Software Hydromagic.

Figura 43: Levantamento Batimétrico no reservatório da Pampulha



Fonte: SUDECAP-PBH, 2014.

Os resultados a serem analisados e discutidos neste trabalho referem-se aos levantamentos batimétricos realizados no reservatório da Pampulha em diferentes períodos. São eles:

#### 5.5.1 Batimetria – Novembro/2012

A batimetria realizada no reservatório da Pampulha em novembro de 2012, teve como finalidade verificar o volume ideal de sedimentos a serem removidos no processo de desassoreamento previsto pela Prefeitura de Belo Horizonte. Esta batimetria balizou a elaboração do Edital do Contrato N° 50/13, executado no biênio 2013-2014 pelo Consórcio Nova Pampulha, tendo como referência a dragagem de sedimentos acima da cota 799 do reservatório, equivalendo ao desassoreamento de 800.764,65 m<sup>3</sup> de sedimentos.



### 5.5.2 Batimetria – Agosto/2013

Nas vésperas de iniciar a dragagem, em agosto de 2013 foi realizada uma batimetria das áreas a serem desassoreadas pelo Consórcio Nova Pampulha mediante o Contrato N° 50/13. Esta batimetria justificou-se por supostas alterações na morfologia do reservatório desde o levantamento anterior (Nov/2012), este que era considerado a referência para o Consórcio iniciar o desassoreamento. Portanto, este levantamento atendeu como a atualização do parâmetro para as batimetrias posteriores (primitiva). Os dados desta batimetria indicaram que desde o levantamento realizado em novembro de 2012, houve uma deposição de 108.474,73 m<sup>3</sup> de sedimentos acima da cota 799 do reservatório.

### 5.5.3 Batimetrias Semanais – 2013 / 2014

Entre outubro de 2013 e outubro de 2014, as diversas áreas desassoreadas no reservatório da Pampulha, tiveram intervenções em períodos relativamente espaçados. Durante os trabalhos, foram realizadas batimetrias semanais, antes e após as dragagens, de forma a permitir quantificar os volumes efetivamente dragados semanalmente nas áreas planejadas. O prazo de uma semana permitia maior acuidade na quantificação do volume dragado, de modo que a sedimentação (assoreamento) neste período não influenciasse significativamente nos resultados obtidos pelas batimetrias. Tais levantamentos eram compilados em relatórios mensais demonstrando o avanço físico-financeiro dos serviços executados pela empresa executora do desassoreamento.

Os somatórios dos resultados obtidos nas batimetrias semanais totalizaram 847.243,10 m<sup>3</sup> dragados, incluindo redragagens que se mostraram necessárias por sedimentos aportados no decorrer das obras, especialmente nos Córregos Sarandi e Água Funda.

#### 5.5.4 Batimetria – Novembro/2014

A batimetria realizada em novembro de 2014 representa a morfologia de todo o reservatório, logo após encerrado o desassoreamento realizado pelo Consórcio Nova Pampulha, no biênio 2013-2014. Portanto, este levantamento corresponde ao resultado final do desassoreamento, considerando as contribuições de sedimentos depositados durante o Contrato N° 50/13. Comparada à batimetria realizada em agosto de 2013, este levantamento indicou uma deposição de 168.464,23 m<sup>3</sup> de sedimentos no reservatório, sendo esta a contribuição de aportes no período do desassoreamento.

### 5.6 Resultados

O assoreamento no reservatório da Pampulha é contribuído, sobretudo, pelos Córregos Ressaca e Sarandi. O processo se potencializa expressivamente nas estações chuvosas, estas que são precedidas de um longo período de estiagem. Supõe-se que nos meses de seca os tributários do reservatório sofram maior deposição e acúmulo de sedimentos em suas calhas e imediações, acarretando no aumento da concentração de sólidos em suspensão durante as chuvas, especialmente nas primeiras precipitações da estação.

Avaliando as batimetrias descritas no capítulo anterior, segundo dados do Relatório Final de Batimetria (SUDECAP-PBH, 2015), é possível interpretar alguns resultados considerados relevantes para as ações de manutenção do reservatório.

Os somatórios dos resultados obtidos nas batimetrias semanais totalizaram 847.243,10 m<sup>3</sup> dragados (Out-2013/Out-2014), considerando redragagens executadas no leito do Córrego Sarandi durante os serviços. Analisando as demandas determinadas pelo resultado da batimetria realizada em Nov/2012 (800.764,65 m<sup>3</sup>) e o conjunto das batimetrias realizadas no decorrer do desassoreamento no biênio 2013-2014, obtivemos um volume de dragagem pouco maior do que o previsto, equivalendo a 46.478,45 m<sup>3</sup>

adicionais. As redragagens motivaram o manejo dos recursos disponíveis para as obras, influenciando na redução do volume dragado de determinadas áreas previstas no desassoreamento do reservatório. Este valor adicional, somado ao volume de sedimentos acima da cota 799 (234.210,77 m<sup>3</sup>) segundo a batimetria realizada logo após o final da dragagem (Nov/2014), totalizaram um volume de 276.939,83 m<sup>3</sup>, o qual representa a contribuição de material depositado na represa no período entre Nov/2012 e Nov/2014. Neste espaço de tempo, considerou-se, portanto, dois períodos hidrológicos completos e meio período hidrológico correspondente as primeiras chuvas ocorridas em outubro e novembro de 2014. O volume de 276.939,83 m<sup>3</sup> dividido por 2,5 períodos hidrológicos demonstra uma contribuição anual de 110.775,93 m<sup>3</sup>, estando relativamente próximo às estimativas atuais da Prefeitura de Belo Horizonte. O Quadro 3 demonstra esta análise com os totais e a distribuição dos volumes por frentes de serviços.

Pouco antes do início da dragagem, em agosto de 2013 foi realizada uma batimetria das áreas a serem desassoreadas, embora tenham ocorrido também as batimetrias semanais durante os serviços, conforme citado no capítulo anterior. Comparada à batimetria realizada em Nov/2014 após o final da dragagem, foi obtido um diferencial de 168.464,23 m<sup>3</sup>, sendo esta a contribuição de sedimentos aportados no período do desassoreamento. Neste espaço de tempo, considerou-se, portanto, um período hidrológico completo e meio período hidrológico correspondente as primeiras chuvas ocorridas em outubro e novembro de 2014. O volume de 168.464,23 m<sup>3</sup> dividido por 1,5 períodos hidrológicos demonstra uma contribuição anual de 112.309,49 m<sup>3</sup>, estando também relativamente próximo às estimativas atuais da Prefeitura de Belo Horizonte. O Quadro 4 demonstra esta análise com os totais e a distribuição dos volumes por frentes de serviço.

Quadro 3: Avaliação do aporte de sedimentos em relação aos estudos do edital do Contrato Nº 50/13

<b>AVALIAÇÃO CONSIDERANDO O EDITAL</b>	<b>TOTAL</b>	<b>ETAF</b>	<b>AABB</b>	<b>GARÇAS</b>	<b>SARANDI</b>	<b>MINEIRÃO/ESPORTES</b>	<b>DELTA</b>
Volume previsto para dragagem, segundo a Batimetria realizada para o edital do Contrato Nº 50/13 (Nov/2012) - (m <sup>3</sup> )	800.764,65	5.000	46.178	76.566	52.922	20.000	600.099
Volume dragado segundo as Batimetrias semanais apresentadas em relatórios mensais de medição (Out/2013 - Out/2014) - (m <sup>3</sup> )	847.243,10	-	5.067	9.884	130.694	23.749	677.849
Volume acima da cota 799, segundo a Batimetria Final (Nov/2014), - (m <sup>3</sup> )	234.210,77	5.000	41.110	66.682	33.707	-	87.711
<b>Contribuição de aporte - Nov/2012 a Nov/2014</b>	<b>276.939,83</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>111.478</b>	<b>-</b>	<b>165.461</b>
<b>Estimativa de contribuição de aporte anual ( 2,5 anos )</b>	<b>110.775,93</b>						

Fonte: SUDECAP-PBH, 2015.

Quadro 4: Avaliação do aporte de sedimentos em relação às batimetrias da obra de desassoreamento no biênio 2013-2014

<b>AVALIAÇÃO CONSIDERANDO BATIMETRIAS DA OBRA</b>	<b>TOTAL</b>	<b>ETAF</b>	<b>AABB</b>	<b>GARÇAS</b>	<b>SARANDI</b>	<b>MINEIRÃO/ESPORTES</b>	<b>DELTA</b>
Volume dragado segundo as Batimetrias semanais apresentadas em relatórios mensais de medição (Out/2013 - Out/2014) - (m <sup>3</sup> )	847.243,10	-	5.067	9.884	130.694	23.749	677.849
Volume da Batimetria Final (Nov/2014) - (m <sup>3</sup> )	678.778,00	-	5.146	8.235	33.707	25.807	605.883
Volume de aporte de sedimentos para o reservatório, estimado para o período do desassoreamento (Out/2013 - Out/2014) - (m <sup>3</sup> )	168.465,10	-	- 79	1.649	96.987	- 2.058	71.966
<b>Estimativa de contribuição de aporte anual ( 1,5 anos )</b>	<b>112.310,07</b>						

Fonte: SUDECAP-PBH, 2015.

A carta batimétrica com as elevações do reservatório da Pampulha é apresentada no Anexo B, demonstrando as profundidades do reservatório após os serviços e obras de dragagem realizados no biênio 2013/2014. A carta também foi gerada a partir do levantamento batimétrico realizado em Nov/2014, incluindo as áreas não contempladas na dragagem do contrato N° 50/13.

A morfologia dos lagos e represas influencia nas características físicas, químicas e biológicas do ecossistema, ou seja, influi de maneira relevante no metabolismo e no comportamento limnológico do ambiente. A partir dos dados batimétricos levantados após o desassoreamento do biênio 2013/2014, foi possível extrair os principais parâmetros morfométricos do reservatório, que consistem em grandezas utilizadas para representar suas medidas. Cada parâmetro possui seus respectivos significados limnológicos capazes de indicar tendências sobre a dinâmica do corpo d'água.

O Quadro 5 e o Quadro 6 citam os principais parâmetros morfométricos primários (extraídos diretamente das medições) e secundários (gerados indiretamente mediante cálculos realizados com os dados primários), indicando-se os procedimentos para as suas medições e cálculos.

Quadro 5: Parâmetros morfométricos primários do reservatório da Pampulha extraídos em novembro de 2014

DADOS PRIMÁRIOS	VALORES	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Área (A)	2,002	km <sup>2</sup>	Superfície total do espelho d'água.
Volume (V)	0,010	km <sup>3</sup>	Volume de água acumulado na depressão do lago.
Profundidade Máxima (Z máx)	15,000	m	Nível de água máximo encontrado no lago.
Profundidade Média (Z méd)	0,005	km	Relação do volume com a superfície do espelho d'água.
Perímetro (P)	14,065	km	A medida do contorno do lago.
Comprimento Máximo (C máx)	3,199	km	Linha que cruza dois pontos da margem mais afastados entre si, podendo atravessar ilhas.
Comprimento Efetivo (Ce)	3,400	km	Linha que cruza dois pontos da margem mais afastados entre si, sem interrupções.

Altura Máxima das Ondas (H)	1,936	cm	Altura máxima que as ondas provocadas pelos ventos podem alcançar.
Forma do lago (F)	- 2,998 Muito Convexo	Adimensional	Fórmula envolvendo a relação entre a Profundidade Média e a Profundidade Máxima. Determina se o lago é côncavo ou convexo.
Largura Máxima (L máx)	1,306	km	Traçado da linha perpendicular ao comprimento máximo.
Área da Bacia (Ab)	97,910	km <sup>2</sup>	Área total da Bacia Hidrográfica onde o lago está inserido.

Fonte: Dados processados no Software Eye4Software Hydromagic, 2016.

Quadro 6: Parâmetros morfométricos secundários do reservatório da Pampulha extraídos em novembro de 2014

DADOS SECUNDÁRIOS	VALORES	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Largura Média (B)	0,626	Km	Relação da área com o comprimento máximo do lago.
Profundidade Relativa (Zr)	0,939	%	Dada pelo quociente entre a profundidade máxima do lago e seu diâmetro médio.
Desenvolvimento do Perímetro (Dp)	2,783	Adimensional	Relação entre o perímetro do lago e a circunferência de um círculo de mesma área do lago.
Desenvolvimento do Volume (Dv)	0,001	Adimensional	Razão entre o volume do lago e o volume de um cone que tenha área igual a do lago e altura equivalente a sua profundidade máxima.
Fator de Envolvimento (F)	48,906	Adim.	Razão da área da bacia do lago e da área do próprio lago.

Fonte: Dados processados no Software Eye4Software Hydromagic, 2016.

A Figura 44 e a Figura 45 ilustram o aspecto da Lagoa da Pampulha em diferentes momentos do desassoreamento, demonstrando a evolução dos serviços durante o biênio 2013-2014.

Figura 44: Aspecto do espelho d'água da Lagoa, no entorno da Ilha dos Amores, em abril de 2014.



Figura 45: Aspecto do espelho d'água da Lagoa, no entorno da Ilha dos Amores, em novembro de 2014.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2014.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com o desassoreamento do reservatório da Pampulha representam um grande passo para a melhoria da qualidade da água e para a revitalização do seu ambiente. No entanto, ressalta-se a importância de manter as ações de manutenção do reservatório, garantindo o volume desejável através de dragagens periódicas em trechos estratégicos, especialmente nos canais dos Córregos Sarandi, Ressaca e Água Funda.

O trecho do parágrafo a seguir foi extraído do Parecer Gerencial N°1431/13 emitido pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, com os seguintes dizeres:

*“...com os investimentos realizados, o aporte de sedimentos, que provoca o assoreamento da Lagoa, teve redução significativa, com as intervenções na reparação das áreas degradadas com erosões e com a urbanização de vilas e favelas, passando de um volume estimado na década de 90 de 380.000 m<sup>3</sup>/ano para cerca de 100.000 m<sup>3</sup>/ano, atualmente.”*

Analisando os resultados das batimetrias citadas no capítulo anterior, constata-se que o volume aportado para o reservatório nos períodos estudados foi relativamente aproximado das estimativas da Prefeitura de Belo Horizonte (100.000 m<sup>3</sup>/ano). Destacam-se as contribuições das primeiras precipitações da estação chuvosa, as quais foram consideradas significativas para o transporte de sedimentos acumulados durante a estação seca. Entretanto, é desconhecido o quanto estas chuvas representam em percentual de volume de sedimentos no decorrer do ano hidrológico. Não menos importante, as chuvas posteriores possuem representação na geração de sedimentos por erosão hídrica, embora suas contribuições também sejam desconhecidas e inestimáveis neste trabalho.

Processos erosivos podem ser desencadeados ao longo de uma estação chuvosa por diferentes variáveis de um território. Os modelos de cálculos de perda de solo por erosão hídrica nos permitem refletir sobre as contribuições ocorridas nos períodos a que se deseja analisar. A Equação Universal de Perdas de Solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), considera a ação



combinada de inúmeros fatores característicos de cada bacia hidrográfica. A erosividade das chuvas, a erodibilidade dos solos, dados topográficos, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas são fatores que influenciam na perda de solo da bacia hidrográfica, refletindo diretamente no assoreamento dos corpos d'água. Portanto, além da conjectura sobre a influência das primeiras precipitações da estação, demais fatores quando inter-relacionados, com posse de dados pluviométricos detalhados, podem remeter outros vislumbres acerca do assoreamento do reservatório da Pampulha.

A influência do aporte de sedimentos, especialmente dos Córregos Ressaca e Sarandi no reservatório da Pampulha, pode ser associada ao intenso processo de transformação da bacia hidrográfica, onde o crescimento demográfico, a execução de obras com grandes movimentações de terra e os usos do solo presentes seriam os principais indicadores representativos deste processo.

É importante salientar que os volumes de deposição de sedimentos estimados pelas batimetrias citadas neste trabalho, estão associados aos fatores influentes da bacia hidrográfica especificamente nos períodos estudados. Ou seja, a produção, o aporte e deposição de sedimentos no reservatório da Pampulha, estão condicionados a dinâmica de uso e ocupação do solo em espaço e tempo determinados, aliada as variáveis naturais do ambiente.

A cada investimento destinado ao saneamento e recuperação ambiental do reservatório da Pampulha, percebe-se que as ações estabelecidas nos subprogramas do PROPAM são contempladas durante as obras, fato constatado no Serviço de Desassoreamento do reservatório, realizado no biênio 2013/2014.

O mesmo espera-se para as próximas etapas de recuperação ambiental da represa, como os serviços de Tratamento da Água do Reservatório da Pampulha que a Prefeitura de Belo Horizonte tem conduzido.

É primordial que as ações e manutenções no âmbito da bacia hidrográfica continuem sendo implantadas, de forma integrada e progressiva. Pressupõe-se que o envolvimento de dois municípios na recuperação

ambiental do reservatório torna o processo mais complexo e oscilante. Tal fato é associado quando as variáveis do processo estão condicionadas ao momento político em que os municípios possam estar vivendo, e como ambos lidam com suas prioridades. A falta de sinergia entre as ações nas fontes de poluição da bacia hidrográfica e as intervenções diretas no reservatório, pode resultar apenas em melhorias efêmeras, seguidas de retrabalhos onerosos. Tais desafios estão também atribuídos ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, criado conforme Deliberação Normativa CBH-VELHAS nº 02/2004, o qual atua na bacia hidrográfica através Sub-comitê da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Onça, sendo o grupo consultivo e propositivo atuante em parte dos municípios de Contagem e Belo Horizonte. Este deve atuar em consonância com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia, Planos Municipais de Saneamento, dentre outras referências que envolvam os interesses comuns a bacia hidrográfica da Pampulha.

Diante o cenário de crise hídrica vivenciado nos últimos anos, um reservatório como o da Pampulha é digno de ter as devidas manutenções e o tratamento priorizados, tendo em vista resultados a longo prazo e usos mais nobres da sua água.

Ações de saneamento do reservatório tornam-se ainda mais necessárias com o título de Patrimônio Cultural da Humanidade dado ao Conjunto Moderno da Pampulha em julho de 2016, reconhecido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). O conjunto é composto por edifícios construídos entre 1942 e 1943, abrigando a Igreja de São Francisco de Assis, o Cassino (atual Museu da Pampulha), a Casa do Baile (atual Centro de Referência em Urbanismo, Arquitetura e Design de Belo Horizonte) e o late Clube. Incluem-se também o espelho d'água do reservatório e a orla trabalhada com paisagismo, estes que funcionam como elementos articuladores dos edifícios e reforçam as relações entre si. A conquista pelo título é um importante significado para as gerações presentes e futuras deste marco da arquitetura mundial e da história brasileira.

Dado o caráter de hipertrofia, a existência de contaminação ambiental e o processo de assoreamento no reservatório da Pampulha, é fundamental a continuidade do monitoramento ambiental como parâmetro de

acompanhamento das ações de recuperação do reservatório. Um sumário dos estudos recomendados para as próximas etapas de melhoria das condições ambientais da represa é apresentado na Figura 46.

Figura 46: Possíveis linhas de pesquisa para a continuidade dos estudos de monitoramento ambiental visando acompanhar a melhoria das condições ambientais do reservatório da Pampulha.



Fonte: SUDECAP-PBH, 2015.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. Guia de Práticas Sedimentométricas. Brasília: ANEEL. 2000. 154 p.

CHAMPS, J.R.B. Transposição de sedimentos na represa da Pampulha: algumas considerações sobre a sua viabilidade. In: SEMINÁRIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA PAMPULHA, 1992, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: SUDECAP, 1992.

CLIMATEMPO, 2016. Disponível em: <http://www.climatempo.com.br/noticias/140704/chuvas-em-minas-gerais/> Acesso em 31 de julho de 2016

COUTINHO, Weber. Emprego da Flotação a Ar dissolvido no tratamento de cursos d'água. Avaliação de Desempenho da Estação de Tratamento dos córregos Ressaca e Sarandi afluentes à Represa da Pampulha. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

DIÁRIO DO COMÉRCIO, 2016. Disponível em: <http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=8263> Acesso em 10 de agosto de 2016

ESTADO DE MINAS, 2015. Disponível em: [http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/12/14/interna\\_gerais,716912/tragedia-de-mariana-reacende-memoria-do-estouro-da-represa-da-pampulha.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/12/14/interna_gerais,716912/tragedia-de-mariana-reacende-memoria-do-estouro-da-represa-da-pampulha.shtml) > Acesso em 31 de julho de 2016

ESTEVES, F. A. 1998. Fundamentos de Limnologia, 2ª ed, Rio de Janeiro: Interciência.

GRANATO, M. Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1995. (Série Tecnologia Ambiental, 05).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=310620&search=|belo-horizonte> > Acesso em 31 de julho de 2016.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151> > Acesso em 14 de outubro de 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Resolução CONABIO no 05, de 21 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Estratégia Nacional sobre Espécies Exóticas Invasoras. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biosseguranca/especies-exoticas-invasoras/estrategia-nacional>> Acesso em 31 de julho de 2016.

MOREIRA, W., T. Recuperação da Lagoa da Pampulha – Desvinculação da Represa de sua própria bacia. Disponível em: <http://audienciapublica.ana.gov.br/arquivos/LAGOA%20DA%20PAMPULHA.pdf>. Acesso em 26 de agosto de 2015.

OLIVEIRA, D.; OLIVEIRA, R. C. B.; MARINS, R. V. 2011. Dinâmica de metais traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: revisão. Revista Virtual Química, 3:88-102.

PERAZZA, M.C.D.; NAVAS-PEREIRA, D.; MARTINS, M.T. O aguapé: meios de controle e possibilidades de utilização. Revista DAE, p.18-25, 1981.

PINTO-COELHO, R., M., P. & HAVENS, K. Crise nas Águas: Educação, ciência, governança, juntas evitando conflitos gerados por escassez e perda da qualidade das águas. Recóleo Editora, 1 edição, Belo Horizonte (MG), ISBN: 978-85-61502-05-8; 162 p., 2015.

PINTO-COELHO, RICARDO MOTTA PINTO, et al, 2012. ATLAS da Qualidade de Água do Reservatório da Pampulha. Belo Horizonte: Recóleo, 2012. 45p. : il. ISBN: 978-85-61502-03-4.

PORTAL PBH, 2015. Disponível em: <<http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/contents.do?evento=conteudo&idConteudo=31463&chPlc=31463&viewbusca=s>> Acesso em: 13 de Set. de 2015

RAMOS,C.L. Erosão urbana e produção de sedimentos. In: TUCCI,C.E.M.; PORTO,R.L.; BARROS,M.T. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, Cap.2, p.241-275.

SUDECAP, 2013. Estudo de Impacto Ambiental da Recuperação da Qualidade da Água da Lagoa da Pampulha. Consominas Engenharia Ltda., Belo Horizonte, 2 Volumes, 230 p.

SUDECAP, 2015. Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Enseada do Zoológico da Lagoa da Pampulha. Consominas Engenharia Ltda., Belo Horizonte, p. 9-10.

SUDECAP, 2013. Plano de Manejo de Macrófitas. Consominas Engenharia Ltda., Belo Horizonte, 31 p.

SUDECAP, 2015. Programa de Biomonitoramento Ecotoxicológico: bioacumulação de Metais em Peixes da Represa da Pampulha (MG). Relatório Final. Icatu Meio Ambiente Ltda., Belo Horizonte, 116 p.

SUDECAP, 2015. Relatório Final de Batimetria. Consominas Engenharia Ltda., Belo Horizonte, 17 p.

SUDECAP, 2009. Plano de Controle Ambiental das Intervenções no Canal do Córrego Ressaca e áreas do entorno. MYR Projetos Sustentáveis, Belo Horizonte, 38 p.

TORRES, I. C. 1999. Determinação da influência dos tributários na qualidade de água da Lagoa da Pampulha. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VON SPERLING. Limnologia Aplicada – Apostila, DESA-UFMG. Versão 2014

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, 58 p.

WMO, World Meteorological Organization. Guide to Hydrological Practices. WMO-No. 168. Editions of 1981 and 1994. Geneva.

## ANEXO A – Ofício de autorização de uso dos dados da SUDECAP-PBH

## ANEXO B – Carta Batimétrica do Reservatório da Pampulha