

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**ESTUDOS DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS  
E OPERACIONAIS DAS GALERIAS DE ÁGUAS  
PLUVIAIS COMO SUBSÍDIOS PARA GESTÃO  
PATRIMONIAL E ESTABELECIMENTO DE  
DIRETRIZES PARA PROJETOS DE SISTEMAS  
DE DRENAGEM URBANA**

**José Eduardo de Aguiar**

**Belo Horizonte**

**2012**

**José Eduardo de Aguiar**

**ESTUDOS DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS  
E OPERACIONAIS DAS GALERIAS DE ÁGUAS  
PLUVIAIS COMO SUBSÍDIOS PARA GESTÃO  
PATRIMONIAL E ESTABELECIMENTO DE  
DIRETRIZES PARA PROJETOS DE SISTEMAS  
DE DRENAGEM URBANA**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Hidráulica e Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Hidrologia Urbana e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Márcio Benedito Baptista

Dedico este trabalho à minha querida esposa Denise, aos meus amados filhos Leticia e Alexandre, e aos meus pais Manoel e Guilhermina pela formação que me deram para possibilitar a minha chegada até aqui.

Escreva alguma coisa que vale a pena ser lida, ou, faça alguma coisa que vale a pena ser escrita.

(autor desconhecido)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores da banca examinadora, Profa. Denise Dal Molin, Profa. Márcia Lara, Prof. Adriano de Paula e Prof. Dalfré Filho, pela grande contribuição dada ao trabalho.

Agradeço ao Prof. Márcio Baptista pelo incentivo e empenho ao longo do desenvolvimento da pesquisa, trabalho de orientação sempre pautado pela dedicação e a ética.

Agradeço ao Prof. Abdias Magalhães Gomes, orientador de minha dissertação de mestrado, que me iniciou na pesquisa científica.

Agradeço à Prefeitura de Belo Horizonte (SUDECAP) pela liberação, sem restrições, de todas as informações para a pesquisa, através dos engenheiros Murilo Campos Valadares, Fernando Jannotti, Paulo Takahashi, e particularmente, Valdir Teixeira.

Agradeço aos amigos e colaboradores da Recuperação Engenharia pelo tanto muito me auxiliaram na execução deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Marcelo Militão pela elaboração dos estudos estatísticos.

Por fim, agradeço à minha família por tudo que fizeram por mim durante o trabalho, de forma direta e indireta, e, principalmente, pela paciência que tiveram comigo ao longo de todo o tempo.

## RESUMO

O trabalho tem como objetivo estudar o surgimento e a evolução das manifestações patológicas nas galerias de águas pluviais urbanas, correlacionando-as com as características técnicas e operacionais das estruturas de concreto, como forma de dar subsídios para a elaboração de planos de gestão patrimonial dos sistemas de drenagem urbana e propor diretrizes para a elaboração de projetos de galerias. Ele tem como maior referência o Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte que possibilitou a realização de inspeções no interior de 120 km de galerias de águas pluviais em 2001.

As inspeções verificaram que as manifestações patológicas ocorrem por causas físicas, como a erosão por abrasão e por cavitação, causas químicas, como os ataques de sulfatos e a corrosão biogênica. As outras manifestações patológicas observadas são os assoreamentos e falhas estruturais.

O banco de dados da pesquisa foi construído a partir das informações referentes à um conjunto formado por 458 trechos de galerias, distribuídos em 16 canais fechados, com uma extensão aproximada de 30 km, que foram submetidas a uma investigação estatística. Este estudo fez o cruzamento dos dados referentes às características das estruturas, com as manifestações patológicas e os níveis de impacto aos usuários. Os principais resultados mostraram que a associação dos degraus e rampas com a abrasão, cavitação e ataque químico tem relevância estatística, assim como a associação das declividades com a abrasão e a cavitação. As análises, de modo geral, confirmaram e consolidaram as conclusões preliminares baseadas na experiência obtida nas inspeções de campo.

Como resultado da pesquisa foram propostas diretrizes para a implantação de planos de gestão patrimonial, entre elas, a constituição e manutenção de um banco de dados através de inspeção cadastral, a priorizações das intervenções com métodos de auxílio à decisão, além da implantação de inspeção de rotina. O trabalho propõe, ainda, diretrizes para projetos, como a eliminação dos fatores que geram degradação nas estruturas - calhas, degraus e rampas, assim como recomendações para aumentar a durabilidade das estruturas, empregando concretos mais resistentes, com menor relação água/cimento e com maior cobrimento das armaduras.

**Palavras-chave:** galerias de águas pluviais, patologias de concreto, gestão patrimonial.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to study the emergence and evolution of pathological manifestations in urban stormwater channels and relate them to technical and operational characteristics of concrete structures so that plans for urban drainage systems management are developed, as well as new concepts for stormwater channel projects. The main reference is the Directive Plan for Urban Drainage of Belo Horizonte, with which 120 km of stormwater channels were inspected in 2001.

The pathological manifestations are a consequence of physical factors such as erosion by abrasion and cavitation, or chemical factors such as sulfate attacks and biogenic corrosion. Sedimentations and structural defects are other pathological manifestations observed.

The research database was built with information extracted from 458 sections of stormwater channels distributed among 16 channels, with an approximate length of 30 km, in which a statistical survey was conducted. In that study, the data related to the structures' characteristics were cross-checked with the pathological manifestations and the level of impact on the users. The main results showed that the relation between steps and ramps and abrasion, cavitation and chemical attack is statistically relevant, as is the association between slopes and abrasion and cavitation processes. The analyses, in general, confirmed and consolidated the preliminary conclusions from the field inspections.

As a consequence of the research, guidelines were proposed to implement plans of patrimonial management such as the construction and maintenance of a database by means of cadastral surveys and the classification of interventions with decision-aiding methods as a priority, as well as the implementation of routine inspections. In this work, project guidelines are also suggested, such as the elimination of degrading factors in structures like gutters, steps and ramps. Furthermore, several recommendations were made to increase structure durability, obtaining more resistant concretes with lower water/cement ratio and thicker armature coating.

**KEYWORDS:** stormwater structures, concrete pathologies, patrimonial management

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLO</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1- INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1- FILOSOFIA DO TRABALHO .....	<b>1</b>
1.2 -JUSTIFICATIVAS .....	<b>1</b>
1.3 -ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	<b>4</b>
<b>2- OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS</b> .....	<b>7</b>
2.1- OBJETIVO GERAL .....	<b>7</b>
2.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	<b>7</b>
2.3- ETAPAS METODOLÓGICAS .....	<b>7</b>
<b>3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>9</b>
3.1-GÊNESES DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS DE CONCRETO.....	<b>9</b>
3.1.1- <i>Mecanismos de desgastes superficiais das estruturas hidráulicas de concreto</i> .....	<b>10</b>
3.1.2- <i>Erosão por abrasão</i> .....	<b>11</b>
3.1.3- <i>Erosão por cavitação</i> .....	<b>13</b>
3.1.4- <i>Erosão por ataque químico e biológico</i> .....	<b>22</b>
3.1.5- <i>Prevenção dos desgastes e manutenção das estruturas hidráulicas</i> .....	<b>32</b>
3.2- PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS.....	<b>33</b>
3.2.1- <i>Aspectos gerais</i> .....	<b>33</b>
3.2.2- <i>Deteriorações causadas pelos processos erosivos</i> .....	<b>34</b>
3.2.3- <i>Manifestações patológicas casuais</i> .....	<b>40</b>

3.2.4- Assoreamentos .....	42
3.3- GESTÃO PATRIMONIAL DA DRENAGEM URBANA .....	44
3.3.1- Gestão patrimonial da drenagem urbana em curso em alguns países.....	44
3.3.2- Construção de sistemas de indicadores.....	50
3.3.3- Sistemas de auxílio à decisão .....	53
3.4- EXIGÊNCIAS QUANTO À DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO .....	56
3.5- COMENTÁRIOS FINAIS .....	60
<b>4- LEVANTAMENTO DE DADOS .....</b>	<b>61</b>
4.1- O SISTEMA DE MACRODRENAGEM DE BELO HORIZONTE .....	61
4.2- UM POUCO DA HISTÓRIA DE BELO HORIZONTE E SUAS REDES DE DRENAGEM .....	62
4.3- PESQUISA HISTÓRICA DAS GALERIAS DE BELO HORIZONTE.....	65
4.4- INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS NO PLANO DIRETOR DE DRENAGEM.....	70
4.4.1- Fichas de geometria.....	71
4.4.2- Fichas das manifestações patológicas.....	73
4.4.3-Diagnóstico estrutural .....	75
4.5-PROCEDIMENTO DE SEGURANÇA PARA A REALIZAÇÃO DAS INSPEÇÕES .....	78
4.6- CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	79
4.7- INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DO BANCO DE DADOS .....	82
4.8- CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DAS GALERIAS.....	82
<b>5- DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS ESTATÍSTICOS.....</b>	<b>86</b>
5.1- OBJETIVO .....	86
5.2- DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	86
5.3- ANÁLISE DESCRITIVA.....	89
5.4- ANÁLISE UNIVARIADAS E MULTIVARIADAS .....	90
5.5- VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....	95
5.6- ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS.....	96
5.6.1- Análise dos degraus .....	96

5.6.2- <i>Análise das rampas</i> .....	97
5.6.3- <i>Análise das calhas</i> .....	97
5.6.4- <i>Análise da idade das galerias</i> .....	98
5.6.5- <i>Análise das declividades</i> .....	99
5.7- <b>CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS ESTATÍSTICOS</b> .....	101
<b>6- DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PLANOS PARA GESTÃO PATRIMONIAL DE DRENAGEM URBANA</b> .....	103
6.1- <b>INTRODUÇÃO</b> .....	103
6.2- <b>ETAPAS PARA ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE GESTÃO PATRIMONIAL</b> .....	103
6.2.1- <i>Inspeção cadastral</i> .....	104
6.2.2- <i>Constituição do banco de dados</i> .....	106
6.2.3- <i>Processamento do banco de dados</i> .....	106
6.2.4 – <i>Priorização das intervenções</i> .....	108
6.2.5- <i>Intervenções das galerias</i> .....	111
6.2.6- <i>Inspeção de rotina</i> .....	111
6.3- <b>APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES PROPOSTAS NAS 16 GALERIAS DA PESQUISA</b> .....	113
6.3.1- <i>Construção e processamento das informações do banco de dados</i> .....	114
6.3.2- <i>Priorização das intervenções</i> .....	116
6.3.3- <i>Planejamento das inspeções de rotina</i> .....	117
6.4- <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	118
<b>7- DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS</b> .....	119
7.1- <b>CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO EMPREGADO ATUALMENTE</b> .119	
7.2- <b>DIRETRIZES DE PROJETO QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO</b> .....	121
7.3- <b>DIRETRIZES QUANTO AOS FATORES DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO</b> .....	123
7.4- <b>CONSIDERAÇÕES</b> .....	124

<b>8- CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>126</b>
8.1- CONCLUSÕES .....	<b>126</b>
8.2- RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	<b>128</b>
<b>9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>130</b>
<b>Apêndice 1-</b> Tabelas com as informações referentes às 16 galerias da pesquisa .....	<b>137</b>
<b>Apêndice 2 -</b> Tecnologias utilizadas para recuperar galerias deterioradas .....	<b>156</b>
<b>Apêndice 3 -</b> Avaliação da presença de sedimentos e nível de turbidez da água .....	<b>166</b>
<b>Apêndice 4-</b> Investigações estatísticas – Análise descritiva, univariada e multivariada.....	<b>169</b>
<b>Apêndice 5 -</b> Investigações estatísticas – Análise complementar.....	<b>219</b>
<b>Apêndice 6 -</b> Investigações estatísticas – Validação do modelo.....	<b>232</b>
<b>Apêndice 7 –</b> Ensaio de análise de sulfetos .....	<b>248</b>
<b>Anexo 1 –</b> Dados do PPD-BH referente às 16 galerias (disponível em CD).....	<b>257</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> –Acidente ocorrido na zona sul de São Paulo no dia 22/12/2010 Fonte Terra) .....	<b>2</b>
<b>Figura 3.1</b> - Erosão por abrasão em estrutura hidráulica de concreto.....	<b>11</b>
<b>Figura 3.2</b> – Efeitos típicos de cavitação: a) barragens, b) obstáculos dentro de um canal ou conduto, c) fluxo negativo, d) fluxo positivo (Adaptado de Sinniger, 1989).....	<b>14</b>
<b>Figura 3.3</b> - Efeitos da cavitação em estrutura hidráulica de concreto (Latorre, 2002).....	<b>15</b>
<b>Figura 3.4</b> - Efeitos da erosão no túnel da barragem Glen Canyon Dam (Tatro 2000).....	<b>16</b>
<b>Figura 3.5</b> - Perda de volume versus resistência do concreto (Adaptado de McDonald, 2002).....	<b>20</b>
<b>Figura 3.6</b> - Efeitos do tipo de fibras na resistência à cavitação (Adaptado de Mc Donald, 2002) .....	<b>21</b>
<b>Figura 3.7</b> - Tipos de aeradores (Graham, 2000) .....	<b>21</b>
<b>Figura 3.8</b> - Desintegração do concreto por ataque de sulfatos (Adaptado de Emmons, 1993).....	<b>25</b>
<b>Figura 3.9</b> - Topo de pilar de vertedouro de barragem afetado por RAA (Revista Técnica, 2010) .....	<b>26</b>
<b>Figura 3.10</b> – Detalhe da reação álcali-agregado: a seta indica a borda da reação circundando o agregado graúdo (Figuerôa e Tibério, 2007) .....	<b>27</b>
<b>Figura 3.11</b> - Ambiente dentro de tubulação de esgoto (Lima, 2005).....	<b>30</b>
<b>Figura 3.12</b> - Aspecto polido da laje de piso da galeria do Córrego da Serra (BH) devido ao processo de abrasão .....	<b>34</b>
<b>Figura 3.13</b> -Armaduras expostas provocam retenção de lixo, reduzindo a velocidade do escoamento no Córrego das Piteiras (BH).....	<b>35</b>
<b>Figura 3.14</b> - Galeria da Av. Mem de Sá (BH) foi construída com degraus para reduzir a velocidade do fluxo.....	<b>36</b>
<b>Figura 3.15</b> - Área com erosão por cavitação logo após os degraus. Situação observada quando da execução dos trabalhos de recuperação estrutural da galeria da Rua Piauí (BH).....	<b>36</b>
<b>Figura 3.16</b> - Cavitação provocou uma enorme cratera após um degrau na galeria do Córrego da Serra (BH).....	<b>37</b>

<b>Figura 3.17-</b> Profundidade superior a um metro em uma cratera, logo após um degrau na galeria do Córrego da Serra (BH).....	<b>37</b>
<b>Figura 3.18-</b> Degradação do concreto por corrosão biogênica na estação de tratamento de esgoto do Ribeirão da Onça (BH).....	<b>38</b>
<b>Figura 3.19-</b> A severa degradação corroeu toda a base da parede de concreto da galeria do Córrego da Serra (BH).....	<b>39</b>
<b>Figura 3.20-</b> A presença de gás sulfídrico e a deficiência de cobrimento das armaduras propiciaram a severa degradação da laje de teto na galeria da Av. Francisco Deslandes (BH).....	<b>39</b>
<b>Figura 3.21 -</b> Deterioração na laje de fundo devido a abrasão e ataque de sulfatos na galeria da Rua Américo Scott (BH).....	<b>40</b>
<b>Figura 3.22-</b> Fissuras com infiltração na parede da galeria da Av. dos Austríacos, Contagem (MG).....	<b>41</b>
<b>Figura 3.23 –</b> Deformação da laje de piso devido á deficiência de projeto da galeria da Takono (BH) .....	<b>41</b>
<b>Figura 3.24-</b> Recalque de um dos módulos da galeria da Rua Alvarenga Peixoto(BH).....	<b>42</b>
<b>Figura 3.25-</b> Assoreamento da galeria do Córrego Engenho Nogueira (BH).....	<b>43</b>
<b>Figura 3.26-</b> Os três níveis de turbidez da água medida em UNT.....	<b>44</b>
<b>Figura 3.27-</b> Exemplo de dois trechos hipotéticos, para serem comparados entre si, utilizando 7 disfunções com seus respectivos pesos (Adaptado de RERAU 2005).....	<b>52</b>
<b>Figura 3.28-</b> Classes de agressividade ambiental (NBR6118/2007).....	<b>57</b>
<b>Figura 3.29-</b> Correspondência entre classes de agressividade e qualidade do concreto (NBR6118/2007) .....	<b>58</b>
<b>Figura 3.30-</b> Correspondência entre classes de agressividade ambiental e cobrimento nominal (NBR6118/2007) .....	<b>59</b>
<b>Figura 4.1-</b> Rede de macrodrenagem de Belo Horizonte (PDD – BH , 2001).....	<b>62</b>
<b>Figura 4.2-</b> Vista da Praça da Matriz, centro do arraial ,em 1894 (Acervo do Arquivo Público Mineiro).....	<b>63</b>
<b>Figura 4.3-</b> Córrego do Leitão , na Rua Padre Belchior, em 1929 (Acervo do Arquivo Público Mineiro).....	<b>64</b>
<b>Figura 4.4-</b> Canalização do Córrego do Leitão, na Rua Padre Belchior, década de 60 (Acervo do Arquivo Público Mineiro).....	<b>64</b>
<b>Figura 4.5-</b> Levantamento cadastral do canal da Rua Monte Sião (PDD – BH 2001).....	<b>71</b>

<b>Figura 4.6-</b> Seção do canal da Rua Monte Sião - Trecho 6 (PDD-BH, 2001).....	<b>72</b>
<b>Figura 4.7-</b> Planta do canal do Córrego da Rua Monte Sião -Trecho 6 (PDD-BH, 2001).....	<b>72</b>
<b>Figura 4.8-</b> Planta do canal do córrego da Rua Monte Sião - Trecho 6 (PDD-BH, 2001)...	<b>73</b>
<b>Figura 4.9</b> – Ficha das manifestações patológicas do canal da Rua Monte Sião – Trecho 6 (PDD-BH, 2001).....	<b>74</b>
<b>Figura 4.10</b> – Perfil longitudinal do canal da Rua Monte Sião (PDD-BH, 2001).....	<b>77</b>
<b>Figura 4.11</b> - Vestimenta e demais aparatos de segurança utilizados nas inspeções das galerias de águas pluviais.....	<b>78</b>
<b>Figura 6.1-</b> Fluxograma das etapas para elaboração dos planos de gestão patrimonial.....	<b>104</b>
<b>Figura A.2.1</b> – Seção tipo dos diversos níveis de deterioração dos pisos das galerias (Recuperação, 2008) .....	<b>158</b>
<b>Figura A.2.2</b> – Desenho esquemático das etapas construtivas do piso Tipo E (Recuperação, 2008) .....	<b>160</b>
<b>Figura A.2.3-</b> O acesso de pessoas e material foi realizado por aberturas na laje de teto...	<b>161</b>
<b>Figura A.2.4</b> – A barragem permitiu canalizar a água em tubos de PVC para ensecar a galeria .....	<b>162</b>
<b>Figura A.2.5</b> – Aspecto da galeria logo após o ensecamento e iluminação.....	<b>162</b>
<b>Figura A.2.6</b> – As cavidades maiores foram preenchidas com material britado .....	<b>162</b>
<b>Figura A.2.7</b> – O piso comprometido foi demolido, ficando somente áreas íntegras.....	<b>163</b>
<b>Figura A.2.8</b> – Instalação de uma malha de aço sobre o piso .....	<b>163</b>
<b>Figura A.2.9</b> – Reconstituição do piso de concreto bombeado .....	<b>163</b>
<b>Figura A.2.10</b> - Visão da laje de piso depois do acabamento da superfície, observando que os degraus foram transformados em rampas suaves .....	<b>164</b>
<b>Figura A.2.11</b> – Reparos das armaduras expostas na parede com argamassa polimérica.....	<b>164</b>
<b>Figura A.2.12</b> – Reconstituição da laje de teto com concreto projetado, após o tratamento da corrosão das armaduras.....	<b>164</b>
<b>Figura A.4.1</b> – Histograma da porcentagem da área de abrasão pela área total .....	<b>174</b>
<b>Figura A.4.2</b> – Box-plot da porcentagem da área de abrasão pela área total .....	<b>174</b>
<b>Figura A.4.3</b> – Histograma da porcentagem da área de cavitação pela área total .....	<b>174</b>
<b>Figura A.4.4</b> – Box-plot da porcentagem da área de cavitação pela área total .....	<b>174</b>
<b>Figura A.4.5</b> – Histograma da porcentagem da área de ataque químico pela área total.....	<b>174</b>

<b>Figura A.4.6</b> – Box-plot da porcentagem da área de ataque químico pela área total .....	<b>174</b>
<b>Figura A.4.7</b> – Histograma da porcentagem da área de assoreamento pela área total .....	<b>175</b>
<b>Figura A.4.8</b> – Box-plot da porcentagem da área de assoreamento pela área total .....	<b>175</b>
<b>Figura A.4.9</b> – Histograma da porcentagem da área casual pela área total .....	<b>175</b>
<b>Figura A.4.10</b> – Box-plot da porcentagem da área casual pela área total .....	<b>175</b>
<b>Figura A.4.11</b> – Histograma da altura da calha (metros).....	<b>177</b>
<b>Figura A.4.12</b> – Box-plot da altura da calha (metros).....	<b>177</b>
<b>Figura A.4.13</b> – Histograma da declividade.....	<b>177</b>
<b>Figura A.4.14</b> – Box-plot da declividade .....	<b>177</b>
<b>Figura A.4.15</b> – Histograma da idade da galeria (anos) .....	<b>177</b>
<b>Figura A.4.16</b> – Box-plot da idade da galeria (anos).....	<b>177</b>
<b>Figura A.6.1</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo I em relação a área de abrasão .....	<b>235</b>
<b>Figura A.6.2</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo II em relação a área de abrasão .....	<b>236</b>
<b>Figura A.6.3</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo I em relação à área de cavitação .....	<b>237</b>
<b>Figura A.6.4</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo II em relação à área de cavitação .....	<b>238</b>
<b>Figura A.6.5</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo I em relação à área de ataque químico.....	<b>239</b>
<b>Figura A.6.6</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo I em relação à área de assoreamento .....	<b>241</b>
<b>Figura A.6.7</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo II em relação à área de assoreamento .....	<b>241</b>
<b>Figura A.6.8</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo III em relação à área de assoreamento .....	<b>242</b>
<b>Figura A.6.9</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo I em relação à área casual .....	<b>242</b>
<b>Figura A.6.10</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo II em relação à área casual.....	<b>243</b>
<b>Figura A.6.11</b> – Gráfico de dispersão para previsão do modelo III em relação à área casual.....	<b>243</b>
<b>Figura A.7.1</b> – Curva de calibração – Sulfeto.....	<b>256</b>

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

<b>Tabela 4.1</b> – Relação das galerias feitas pela extinta SMCO .....	<b>66</b>
<b>Tabela 4.2.a</b> – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP(1/4).....	<b>67</b>
<b>Tabela 4.2.b</b> – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP(2/4) .....	<b>68</b>
<b>Tabela 4.2.c</b> – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP(3/4) .....	<b>69</b>
<b>Tabela 4.2.d</b> – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP(4/4).....	<b>70</b>
<b>Tabela 4.3</b> - Diagnóstico Estrutural – Ficha Resumo do Canal da Rua Monte Sião (PDD-BH, 2001).....	<b>76</b>
<b>Tabela 4.4</b> - Dados referentes às 16 galerias selecionadas para o banco de dados.....	<b>85</b>
<b>Tabela 5.1</b> - Síntese das análises multivariadas para nível de impacto .....	<b>93</b>
<b>Tabela 5.2</b> - Síntese das análises multivariadas para área ponderada pela área total .....	<b>94</b>
<b>Tabela 5.3</b> - Porcentagem de acerto na associação das características e as manifestações patológicas .....	<b>95</b>
<b>Tabela 5.4</b> - Análise da característica degrau e as manifestações patológicas .....	<b>96</b>
<b>Tabela 5.5</b> - Análise da característica rampa e as manifestações patológicas .....	<b>97</b>
<b>Tabela 5.6</b> - Análise da característica calha e as manifestações patológicas.....	<b>98</b>
<b>Tabela 5.7</b> - Análise da característica idade e as manifestações patológicas.....	<b>98</b>
<b>Tabela 5.8</b> - Análise da característica de declividade e as manifestações patológicas .....	<b>99</b>
<b>Tabela 5.9</b> - Análise refinada da característica declividade e as manifestações patológicas .....	<b>100</b>
<b>Tabela 6.1</b> - Informações relativas à Galeria nº1.....	<b>110</b>
<b>Tabela 6.2</b> - Informações relativas à Galeria nº2.....	<b>110</b>
<b>Tabela 6.3</b> - Informações relativas à Galeria nº3.....	<b>110</b>
<b>Tabela 6.4</b> - Matriz da periodicidade (classe de declividade x fator de susceptibilidade) .....	<b>113</b>
<b>Tabela 6.5</b> - Resumo das principais informações das 16 galerias da pesquisa.....	<b>115</b>
<b>Tabela 6.6</b> - Resultados dos indicadores das intervenções de rotina (IR ).....	<b>116</b>
<b>Tabela 6.7</b> - Resultados dos indicadores das intervenções de emergência (IE).....	<b>116</b>
<b>Tabela 6.8</b> - Planejamento das inspeções de rotina das 16 galerias.....	<b>117</b>
<b>Tabela A.1.1</b> Informações referentes à Galeria do Coqueiros .....	<b>138</b>
<b>Tabela A.1.2</b> Informações referentes à Galeria Av. Francisco Deslandes .....	<b>139</b>
<b>Tabela A.1.3</b> Informações referentes à Galeria Av. Mem de Sá .....	<b>140</b>
<b>Tabela A.1.4</b> Informações referentes à Galeria Av. Cônsul Antônio Cadar .....	<b>141</b>

<b>Tabela A.1.5</b> Informações referentes à Galeria Córrego Flor D'água .....	<b>142</b>
<b>Tabela A.1.6</b> Informações referentes à Galeria Av. Cardeal.....	<b>143</b>
<b>Tabela A.1.7</b> Informações referentes à Galeria Rua Palmira .....	<b>144</b>
<b>Tabela A.1.8</b> Informações referentes à Galeria Av. Ivaí .....	<b>145</b>
<b>Tabela A.1.9</b> Informações referentes à Galeria Rua Pernambuco.....	<b>146</b>
<b>Tabela A.1.10</b> Informações referentes à Galeria Córrego Engenho Nogueira.....	<b>147</b>
<b>Tabela A.1.11</b> Informações referentes à Galeria Av. Avaí.....	<b>148</b>
<b>Tabela A.1.12</b> Informações referentes à Galeria Córrego Açudinho .....	<b>149</b>
<b>Tabela A.1.13</b> Informações referentes á Galeria Rua Odilon Braga.....	<b>150</b>
<b>Tabela A.1.14</b> Informações referentes à Galeria Córrego do Tijuco .....	<b>151</b>
<b>Tabela A.1.15</b> Informações referentes à Galeria Córrego Acaba Mundo.....	<b>152</b>
<b>Tabela A.1.16</b> Informações referentes à Galeria Córrego da Serra.....	<b>154</b>
<b>Tabela A.3.1</b> Resultado do nível de turbidez e sedimentos.....	<b>168</b>
<b>Quadro A.4.1</b> Nomes e formas das variáveis respostas.....	<b>170</b>
<b>Quadro A.4.2</b> Nomes e formas da característica avaliada.....	<b>171</b>
<b>Tabela A.4.1</b> Descrições das porcentagens das áreas de abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual em relação à área total .....	<b>173</b>
<b>Tabela A.4.2</b> Descrições dos níveis de impacto das áreas de abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual em relação à área total .....	<b>175</b>
<b>Tabela A.4.3</b> Descrições do degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade .....	<b>176</b>
<b>Tabela A.4.4</b> Descrições da calha, declividade e idade da galeria.....	<b>176</b>
<b>Tabela A.4.5</b> Comparação do nível de impacto para abrasão e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade da galeria .....	<b>179</b>
<b>Tabela A.4.6</b> Comparação entre nível de impacto para abrasão e calha, declividade e idade da galeria.....	<b>179</b>
<b>Tabela A.4.7</b> Modelo final de regressão politômica – nível de impacto para abrasão .....	<b>182</b>
<b>Tabela A.4.8</b> Comparação da área de abrasão ponderada pela área total em relação às características de interesses .....	<b>183</b>
<b>Tabela A.4.9</b> Modelo Beta Inflacionário I – área de abrasão .....	<b>184</b>
<b>Tabela A.4.10</b> Modelo Beta Inflacionário II – área de abrasão .....	<b>184</b>
<b>Tabela A.4.11</b> Comparação de nível de impacto para cavitação e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade.....	<b>186</b>

<b>Tabela A.4.12</b> Comparação entre nível de impacto para cavitação e calha, declividade e idade da galeria .....	<b>186</b>
<b>Tabela A.4.13</b> Modelo final de regressão politômica – nível de impacto para cavitação.....	<b>188</b>
<b>Tabela A.4.14</b> Comparação da área de cavitação ponderada pela área total em relação às características de interesses.....	<b>189</b>
<b>Tabela A.4.15</b> Modelo Beta Inflacionário – área de cavitação.....	<b>190</b>
<b>Tabela A.4.16</b> Modelo Beta Inflacionário – área de cavitação .....	<b>190</b>
<b>Tabela A.4.17</b> Comparação entre nível de impacto para ataque químico e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade.....	<b>192</b>
<b>Tabela A.4.18</b> Comparação entre nível de impacto para ataque químico e calha, declividade e idade da galeria.....	<b>193</b>
<b>Tabela A.4.19</b> Modelo final de regressão politômica – nível de impacto para ataque químico.....	<b>195</b>
<b>Tabela A.4.20</b> Comparação da área de ataque química ponderada pela área total em relação às características de interesses .....	<b>196</b>
<b>Tabela A.4.21</b> Modelo de regressão Beta Inflacionário – área por ataque químico .....	<b>197</b>
<b>Tabela A.4.22</b> Comparação entre nível de Impacto para assoreamento e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade.....	<b>198</b>
<b>Tabela A.4.23</b> Comparação entre nível de impacto para assoreamento e calha, declividade e idade da galeria .....	<b>199</b>
<b>Tabela A.4.24</b> Modelo final de regressão politômica – nível de impacto para assoreamento .....	<b>200</b>
<b>Tabela A.4.25</b> Comparação da área para assoreamento ponderada pela área total em relação as características de interesses .....	<b>201</b>
<b>Tabela A.4.26</b> Modelo Beta Inflacionário – área de assoreamento .....	<b>202</b>
<b>Tabela A.4.27</b> Modelo Beta Inflacionário – área de assoreamento .....	<b>202</b>
<b>Tabela A.4.28</b> Modelo Beta Inflacionário – área de assoreamento .....	<b>202</b>
<b>Tabela A.4.29</b> Comparação do nível de impacto casual e degrau, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade.....	<b>204</b>
<b>Tabela A.4.30</b> Comparação entre nível de impacto casual e calha, declividade e idade da galeria .....	<b>205</b>
<b>Tabela A.4.31</b> Comparação da área casual ponderada pela área total em relação as características de interesse .....	<b>206</b>

<b>Tabela A.4.32</b> Modelo Beta Inflacionário – área casual.....	<b>207</b>
<b>Tabela A.4.33</b> Modelo Beta Inflacionário – área casual.....	<b>207</b>
<b>Tabela A.4.34</b> Modelo Beta Inflacionário – área casual.....	<b>207</b>
<b>Quadro A.4.3</b> Resumo das análises multivariadas para nível de impacto.....	<b>209</b>
<b>Quadro A.4.4</b> Resumo das análises multivariadas para área ponderada pela área total.....	<b>211</b>
<b>Tabela A.4.35</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para abrasão.....	<b>212</b>
<b>Tabela A.4.36</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo binominal negativa em relação á abrasão.....	<b>213</b>
<b>Tabela A.4.37</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para cavitação.....	<b>213</b>
<b>Tabela A.4.38</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação á cavitação.....	<b>214</b>
<b>Tabela A.4.39</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para ataque químico.....	<b>214</b>
<b>Tabela A.4.40</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação ao ataque químico.....	<b>215</b>
<b>Tabela A.4.41</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para assoreamento.....	<b>215</b>
<b>Tabela A.4.42</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação ao assoreamento.....	<b>215</b>
<b>Tabela A.4.43</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto casual.....	<b>216</b>
<b>Tabela A.4.44</b> Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação ao casual.....	<b>217</b>
<b>Tabela A.5.1</b> Comparação entre a classe da declividade e degrau.....	<b>221</b>
<b>Tabela A.5.2</b> Comparação entre a classe da declividade e rampa.....	<b>221</b>
<b>Tabela A.5.3</b> Comparação do nível de impacto para abrasão e classe da declividade.....	<b>222</b>
<b>Tabela A.5.4</b> Modelo de regressão – nível de impacto para abrasão (com classe da declividade).....	<b>224</b>
<b>Tabela A.5.5</b> Comparação do nível de impacto para cavitação e classe da declividade .....	<b>225</b>

<b>Tabela A.5.6</b> Modelo de regressão – nível de impacto para cavitação (com classe da declividade).....	<b>227</b>
<b>Tabela A.5.7</b> Comparação do nível de impacto para ataque químico e classe da Declividade.....	<b>228</b>
<b>Tabela A.5.8</b> Modelo de regressão politômica – nível de impacto para ataque químico.....	<b>228</b>
<b>Tabela A.5.9</b> Comparação do nível de impacto para assoreamento e classe da declividade .....	<b>229</b>
<b>Tabela A.5.10</b> Modelo final de regressão politômica – nível de impacto para assoreamento.....	<b>230</b>
<b>Tabela A.5.11</b> Comparação do nível de impacto para casual e classe da declividade.....	<b>230</b>
<b>Tabela A.6.1</b> Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para abrasão e as novas categorias.....	<b>234</b>
<b>Tabela A.6.2</b> Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para cavitação e as novas categorias.....	<b>237</b>
<b>Tabela A.6.3</b> Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para ataque químico e as novas categorias.....	<b>239</b>
<b>Tabela A.6.4</b> Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para assoreamento e as novas categorias.....	<b>240</b>
<b>Quadro A.6.1</b> Presença de características no modelo de regressão e porcentagem de acerto.....	<b>244</b>
<b>Quadro A.6.2</b> Presença de características no modelo, gráfico do observado versus preditos – Abrasão.....	<b>244</b>
<b>Quadro A.6.3</b> Presença de características no modelo, gráfico do observado versus preditos – Cavitação.....	<b>245</b>
<b>Quadro A.6.4</b> Presença de características no modelo, gráfico do observado versus preditos – Ataque químico.....	<b>245</b>
<b>Quadro A.6.5</b> Presença de características no modelo, gráfico do observado versus preditos – Assoreamento.....	<b>246</b>
<b>Quadro A.6.6</b> Presença de características no modelo, gráfico do observado versus preditos –casual.....	<b>247</b>
<b>Tabela A.7.1</b> Construção da curva de calibração de sulfetos.....	<b>255</b>
<b>Tabela A.7.2</b> Leitura e resultado obtido para amostras.....	<b>256</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

*ABNT* – Associação Brasileira de Normas Técnicas

*AHP* - Analytic Hierarchy Process

*ASTM* – American Society For Testing and Materials

*ATV – DVWK* – Associação Alemã para a água

*atm* - atmosfera

*BH* – *Belo Horizonte*

*CD* – Compact disc

*cm* - Centímetros

*ELECTRE* - Élimination Et Choix Traduisant la Réalité

ES – Espírito Santo

*fck* – Resistencia característica do concreto

*FINATEC* – Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos

*ha* – Hectare

*IBGE* – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

*INSA* – Institut National des Sciences Appliquées

*km* - Quilômetro

*km<sup>2</sup>* - Quilômetro quadrado

*l* - litro

*MACBETH* - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique

*MAHP* - Multiplicative AHP

*MCDA* – Multiple Criteria Decision Aid

*MCDM* – Multiple Criteria Decision Making

*MG* – *Minas Gerais*

*mg* - Miligrama

*mm* – Milímetro

*MPa* – Mega Pascal

*NBR* – Norma Brasileira

*NBR NM* – Norma Mercosul

*OFWAT* – Departamento de Serviços de Água da Inglaterra e País de Gales

*PDD-BH* – Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte

*pH* – Potencial hidrogênico

*PLANURBS* – Plano de Urbanização e Saneamento Básico de Belo Horizonte

*PMPA* – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre

*ppm* – Partículas por milhão

*PVC* – Policloreto de Polivinila

*RAA* – Reação álcali-agregado

*RERAU* - Réhabilitation des Réseaux d'Assainissement Urbain

*SIG* – Sistema de Informações Geográficas

*SUDECAP* – Superintendência de Desenvolvimento da Capital

*UHE* – Usina Hidrelétrica

*UNT* – Unidade nefelométrica de turbidez

*US* – Estados Unidos

*%* - Porcentagem

# 1- INTRODUÇÃO

## 1.1 - *Filosofia do trabalho*

Segundo Mlodinow (2005), na antiguidade havia duas civilizações com filosofias diferentes em relação à ciência: babilônicos e gregos. Os babilônicos foram os responsáveis pelos primeiros grandes avanços no conhecimento dos números e das equações, assim como a geometria. No entanto, é aos gregos, uma civilização posterior, que se dão os créditos à invenção da matemática. Isto ocorreu por que os babilônicos se importavam em saber se determinado método de calcular funcionava ou não, ou seja, se preocupavam em descrever adequadamente uma situação física real, não se importando se era exato ou capaz de se encaixar num grande sistema lógico. Por outro lado, os gregos inventaram a ideia do teorema e da prova, e para que uma afirmação fosse considerada verdadeira, exigiam que ela significasse uma consequência lógica exata de um sistema de axiomas ou proposições explicitamente definidas. Resumidamente, os babilônicos concentravam sua atenção nos fenômenos, e os gregos na ordem oculta por trás dos fenômenos.

As duas abordagens da ciência são bastante poderosas, e ambas contam com muitos seguidores. O método grego apresenta toda a força do aparato lógico da matemática, enquanto a abordagem babilônica proporciona certa liberdade de imaginação e permite que se siga o instinto ou a intuição a respeito dos fenômenos da natureza, dispensando uma preocupação excessiva com o rigor científico e com as suas justificativas.

Nesta pesquisa optou-se pela abordagem babilônica, confiando na compreensão dos fenômenos para levá-los às conclusões do trabalho.

## 1.2- *Justificativas*

Os sistemas clássicos de drenagem urbana, baseados na lógica da evacuação rápida das águas do meio urbano através de ações estruturais, implicam em investimentos maciços das municipalidades, face à necessidade de contínua adaptação à expansão das cidades. Esse fato se choca contra um crescente quadro de escassez dos recursos públicos disponíveis para investimentos e para manutenção da infraestrutura urbana, levando à busca de soluções de construção e, principalmente, de preservação dos sistemas de drenagem com custos mais reduzidos.

Com o passar dos anos, as estruturas de concreto das galerias de águas pluviais utilizadas nos sistemas de macrodrenagem urbana sofrem um desgaste gradual pelo escoamento das águas, que normalmente possuem sólidos, esgotos clandestinos e contaminações químicas oriundas de efluentes industriais.

Como as administrações e concessionárias públicas não dispõem de métodos para elaboração de um plano de manutenção preventiva para conservar as estruturas, verifica-se, lamentavelmente, que as intervenções de manutenção só ocorrem de forma corretiva, após a ocorrência de acidentes, conforme mostrado na Figura 1.1, ou quando a degradação das galerias já atingiu nível tão elevado que é iminente o risco de acidentes para os pedestres e o tráfego de veículos do local, exigindo recursos muito maiores para a reparação, quando comparados com aqueles das ações preventivas.



**Figura 1.1** – Acidente ocorrido na zona sul de São Paulo, no dia 22/12/2010 (Fonte: Terra)

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo estudar o surgimento e evolução das manifestações patológicas nas galerias de águas pluviais urbanas, correlacionando-as com as características técnicas e operacionais das estruturas de concreto, como forma de dar subsídios para a elaboração de um plano de gestão patrimonial dos sistemas de drenagem urbana e a proposição de novas concepções na elaboração de futuros projetos de galerias. Tem como maior referência um trabalho desenvolvido pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, que, através da SUDECAP, uma autarquia municipal responsável pela implantação e manutenção das obras de infraestrutura da cidade, criou o Plano Diretor de Drenagem (PDD-BH, 2001).

A expansão urbana de Belo Horizonte adotou um modelo de ocupação sobre as avenidas sanitárias, implantando as vias principais sobre os vales, com os cursos de água sendo gradativamente canalizados.

Atualmente a rede hidrográfica natural da cidade é constituída por cerca de 330 km de cursos de águas perenes, sendo que estão canalizados aproximadamente 200 km, situados nas bacias hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e Onça, tributários diretos do Rio das Velhas, integrante da Bacia Hidrográfica de São Francisco.

Dentre as diversas partes componentes do Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte estão os levantamentos geométricos dos sistemas de micro e macrodrenagens, o cadastramento das manifestações patológicas verificadas no interior das estruturas e um diagnóstico estrutural das galerias de águas pluviais.

O conjunto das informações obtidas foi a principal fonte da pesquisa, pois se trata de um estudo muito rico, mostrando as degradações das galerias de águas pluviais de uma cidade com uma topografia muito acidentada e contaminada por partículas de minério de ferro em suspensão oriundas da Serra do Curral.

A falta de conhecimentos referente à durabilidade das estruturas de concreto, frente à agressividade causada pelo escoamento das águas pluviais contaminadas por agentes químicos e biológicos, além da abrasividade das partículas sólidas em suspensão, dificulta que administrações municipais e concessionárias públicas elaborem um plano de manutenção adequado para preservar o investimento financeiro feito na construção dos sistemas de macrodrenagem urbana, particularmente as galerias de águas pluviais.

Com a realização desta pesquisa torna-se possível, a partir das situações encontradas em Belo Horizonte, compreender as manifestações patológicas em sistemas de macrodrenagem urbana e as correspondentes características técnicas e operacionais, correlacionando as degradações nas estruturas com a idade de construção, os materiais e procedimentos construtivos, os agentes agressivos e os parâmetros hidráulicos envolvidos, possibilitando, como consequência do trabalho, a elaboração de uma metodologia para estabelecimento de um plano de gestão patrimonial que será muito importante para os diversos interessados, além de propor novas concepções para serem adotadas em projetos de galerias de águas pluviais, evitando o surgimento de manifestações patológicas nas próximas construções.

Os conhecimentos técnicos contidos no trabalho preenchem uma lacuna existente nos setores de engenharia das administrações e concessões públicas, possibilitando gerar ações de caráter preventivo, contrastando com as intervenções feitas normalmente, que visam somente ações corretivas, muito mais caras e sempre feitas às pressas, quando está iminente algum acidente com a população.

Os estudos envolvendo as manifestações patológicas em galerias de águas pluviais são escassos na literatura nacional e internacional. O maior problema refere-se ao elevado grau de dificuldade para obter essas informações, exigindo incursões no interior das galerias, trabalho em ambiente confinado, que requer diversos procedimentos de segurança em função dos altos riscos envolvidos devido à presença de gases tóxicos, pontas de ferros salientes, grandes cavidades e obstruções.

A originalidade desta pesquisa reside no fato de se relacionar o surgimento e evolução das manifestações patológicas com as características técnicas e operacionais das galerias, tendo como base o estudo de caso de Belo Horizonte, que é uma fonte de pesquisa muito interessante devido às suas particularidades de topografia e sedimentos.

As ilustrações fotográficas apresentadas no trabalho, quando não referenciadas, fazem parte do acervo técnico do autor.

### **1.3- Estrutura do documento**

O trabalho que aqui se apresenta, trata de uma tese de doutorado e está estruturado em nove capítulos, incluindo esta introdução.

O segundo capítulo apresenta os objetivos gerais e específicos para a realização da presente pesquisa. No mesmo capítulo são definidas as etapas metodológicas seguidas no trabalho.

O terceiro capítulo refere-se à revisão bibliográfica. Neste capítulo foram revisados temas relacionados com a origem das manifestações patológicas nas estruturas hidráulicas de concreto, particularmente as galerias de águas pluviais, abordando os mecanismos de formação da abrasão, cavitação, ataques químicos e os assoreamentos. Foram pesquisadas as medidas de proteção contra estas degradações e os procedimentos de segurança para a realização das inspeções. Foi realizada também uma revisão da literatura referente aos planos de gestão patrimonial em curso pelo Brasil e outros países, além das metodologias utilizadas para auxílio à decisão.

O capítulo quatro apresenta o levantamento dos dados para a pesquisa, abordando o sistema da macrodrenagem de Belo Horizonte, a história das redes de drenagem da cidade e todas as informações disponíveis no Plano Diretor de Drenagem, como as fichas de geometria e manifestações patológicas, além dos diagnósticos estruturais. No mesmo capítulo foram descritos os critérios adotados para selecionar o conjunto de galerias que formaram o banco de dados, além de mostrar o conteúdo destas informações.

O capítulo cinco mostra o desenvolvimento das investigações estatísticas feitas a partir do banco de dados, mostrando as metodologias utilizadas e os resultados obtidos nas análises descritivas, univariada e multivariadas. No capítulo é feita uma análise crítica dos estudos, comparando os resultados obtidos com as expectativas baseadas em conclusões preliminares.

O capítulo seis apresenta, como consequência dos resultados da pesquisa, as diretrizes para a elaboração de planos de gestão patrimonial de drenagem urbana, mostrando o desenvolvimento de todas as etapas propostas, como a inspeção cadastral, a construção e o processamento do banco de dados, os métodos de auxílio à decisão baseados em indicadores de ações de rotina ou emergenciais, além do planejamento das inspeções rotineiras. No final do capítulo é feita a aplicação das diretrizes nas dezesseis galerias da pesquisa.

No capítulo sete são apresentadas as diretrizes para a elaboração de projetos de novas galerias de águas pluviais urbanas. São feitos comentários e críticas a respeito das Normas Brasileiras vigentes e as práticas adotadas atualmente no Brasil. São apresentadas recomendações para serem adotadas nos futuros projetos, procurando aumentar a durabilidade das estruturas através da eliminação dos fatores que provocam as manifestações patológicas e a introdução de práticas que visam melhorar a qualidade do concreto empregado.

O capítulo oito contempla as principais conclusões extraídas da pesquisa. O mesmo capítulo apresenta as recomendações para novas pesquisas, baseadas em oportunidades detectadas para o desenvolvimento de estudos complementares ao tema da tese.

O capítulo nove apresenta as referências bibliográficas utilizadas ao longo do trabalho, que deram embasamento ao seu desenvolvimento.

Ao corpo principal do documento foram incluídos os seguintes apêndices:

Apêndice 1 - Tabelas com as informações referentes às 16 galerias da pesquisa;

Apêndice 2 – Tecnologias utilizadas para recuperar as galerias deterioradas;

Apêndice 3 – Avaliação da presença de sedimentos e nível de turbidez da água;

Apêndice 4 – Investigações estatísticas: Análise descritiva, univariada e multivariada;

Apêndice 5 – Investigações estatísticas: Análise complementar;

Apêndice 6 – Investigações estatísticas: Estudo de validação do modelo;

Apêndice 7 – Ensaio de análise de sulfetos.

Finalmente, apresentam-se em anexo os dados do PPD-BH referentes às 16 galerias da pesquisa em meio digital (CD).

## **2- OBJETIVOS E ETAPAS METODOLÓGICAS**

### **2.1- Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é estabelecer correlações entre o surgimento e a evolução das manifestações patológicas com as características técnicas e operacionais das galerias de águas pluviais urbanas, de forma a permitir a proposição de diretrizes para a elaboração de planos de gestão patrimonial de drenagem urbana e o desenvolvimento de novos projetos.

### **2.2- Objetivos específicos**

De forma a permitir a consecução do objetivo geral deste trabalho são definidos os seguintes objetivos específicos:

- identificar e caracterizar as manifestações patológicas encontradas no interior das galerias de águas pluviais;
- estabelecer relações entre as características técnicas e operacionais das galerias de águas pluviais e seu estado de conservação;
- com base nas relações estabelecidas, propor diretrizes para a elaboração de planos de gestão patrimonial do sistema de drenagem urbana e o desenvolvimento de novos projetos de galerias de águas pluviais;

### **2.3- Etapas metodológicas**

São as seguintes as etapas metodológicas:

- revisão da literatura com vistas ao estabelecimento do referencial teórico do trabalho;
- levantamento do conjunto das informações existentes relativas às características construtivas, técnicas e operacionais das galerias de águas pluviais de Belo Horizonte, identificando e caracterizando as manifestações patológicas encontradas;
- identificação de um conjunto de galerias representativo dos problemas encontrados e das condições técnicas de implantação e operação, formando o banco de dados da pesquisa;
- realização de um estudo estatístico através de análise descritiva, univariada e multivariada, correlacionado as características das galerias, as manifestações patológicas e os níveis de impacto, buscando entender o surgimento e a evolução das anomalias;

- proposição, a partir das conclusões da pesquisa, de diretrizes para elaboração de planos de gestão patrimonial do sistema de drenagem urbana;
- proposição de diretrizes para projetos de galerias de águas pluviais urbanas.

### **3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo são apresentadas as informações obtidas na revisão da literatura nacional e internacional relacionadas com a pesquisa.

#### ***3.1- Gênese das manifestações patológicas nas estruturas hidráulicas de concreto***

Normalmente, o material mais utilizado na construção das estruturas hidráulicas é o concreto armado de cimento Portland, produzido segundo determinados critérios de estabilidade, durabilidade e condições operacionais para que possa suportar a cargas e sobrecargas por vários anos, sem se desgastar. No entanto, por uma variedade de fatores, incluindo parâmetros de projeto e de construção, seleção e qualidade dos materiais, mudanças operacionais, bem como a interação com o meio ambiente, as estruturas sofrem danos, sendo que o seu grau de deterioração está diretamente relacionado a estes fatores.

Os processos de deterioração do concreto ocorrem por causas físicas e/ou químicas. Os processos físicos podem ser classificados em desgastes superficiais e fissurações. Na classe dos desgastes superficiais está a erosão (abrasão e cavitação), e quanto à origem das fissurações, elas podem ter causas internas ao concreto, como pressão de cristalização de sais nos poros e o calor de hidratação, e causas externas, como gradientes de temperatura, umidade, carregamentos estruturais, entre outros (Aguiar e Baptista, 2009).

Os ataques químicos também provocam desgastes superficiais devido às trocas iônicas entre os fluidos agressivos com a pasta de cimento endurecida, além de reações expansivas causadas pela corrosão, compostos como sulfatos, entre outros (Andrade, 2005).

Segundo Kormann (2002), geralmente os desgastes físicos e químicos acabam se complementando. Ocorridos os desgastes físicos, tal como a erosão, há um aumento da exposição da superfície de concreto aos agentes agressivos, e, conseqüentemente, aos ataques pelos compostos químicos presentes nestes. Ocorridos os desgastes químicos, o concreto fica mais poroso, facilitando o processo de erosão, e assim sucessivamente. Estes fatos fazem com que ambos os processos de deterioração, físicos ou químicos, resultem em um ciclo de difícil dissociação ou estabilização.

Os problemas de erosão nas estruturas hidráulicas são importantes, e por causa disto, cuidados especiais devem ser dispensados às superfícies, que necessitam ser resistentes. Em muitos

casos os danos são tão severos que levam as estruturas ao colapso, forçando uma interrupção de funcionamento por grandes períodos (Dalfré Filho e Genovez, 2004).

### **3.1.1- Mecanismos de desgastes superficiais das estruturas hidráulicas de concreto**

De maneira geral, os desgastes superficiais das estruturas hidráulicas de concreto são definidos como a perda, normalmente lenta, da seção do material a partir das superfícies expostas aos fenômenos de deterioração, podendo afetar a espessura total dos elementos estruturais.

Dois termos são muito utilizados quando se referem aos desgastes: abrasão e erosão. Mas, entre os diversos autores, existe uma divergência quanto ao conceito destas palavras.

Alguns autores, como Mehta e Monteiro (2008) e Neville (1997), consideram que a abrasão é o desgaste ocorrido por atrito seco quando a superfície de concreto é utilizada como pavimento ou piso, sendo o tráfego de veículos o principal agente agressor, enquanto a erosão é o desgaste provocado nas estruturas hidráulicas pelo choque de partículas sólidas suspensas em líquidos com a superfície de concreto.

Outros autores, como Kormann (2002) e Graham (2000), consideram que a abrasão e a erosão são processos erosivos em estruturas hidráulicas de concreto.

Como se pode observar, não há consenso quanto ao conceito dos termos abrasão e erosão, que se diferem pelo tipo de meio no qual ocorre o desgaste, meio seco ou suspensão em água. Mas, em geral, o desgaste ocorrido em superfícies hidráulicas de concreto é tratado pela maioria dos autores desta área como sendo erosão por abrasão ou simplesmente abrasão.

Neste trabalho foi adotado o mesmo conceito definido por Graham (2000), quando da elaboração do Relatório do Comitê 210 do American Concrete Institute ACI 210 R-93, que considera a abrasão como um dos processos erosivos em estruturas hidráulicas de concreto. Além da abrasão, este trabalho considera também como processos erosivos o ataque químico e a cavitação, sendo esta última a deterioração provocada pela implosão de bolhas de vapor que podem ser formadas em fluxos de água em velocidade elevada, dependendo da velocidade e da pressão do escoamento.

### 3.1.2- Erosão por abrasão

#### Mecanismo da abrasão

A erosão do concreto por abrasão geralmente ocorre devido ao transporte por arraste, sendo o carreamento pela água de partículas sólidas (materiais abrasivos) como argila, areia, cascalhos, entre outros. Os materiais abrasivos são aqueles que, por serem mais duros, são capazes de arrancar por fricção partículas de outros corpos (Leonardo, 2002). Quanto mais turbulentos forem os fluxos, juntamente com as forças de impacto ocasionadas pelos detritos, mais severa será a erosão por abrasão, conforme mostrado na Figura 3.1.



**Figura 3. 1** - Erosão por abrasão em estrutura hidráulica de concreto

Os detritos transportados pelos fluxos d'água variam desde seus tipos até suas durezas, podendo ser areias, pedras, escombros, cascalhos, restos vegetais, entre outros. Além das superfícies das galerias de águas pluviais, as estruturas hidráulicas mais atingidas pelos processos abrasivos são as superfícies dos vertedores, as bacias de dissipação, as paredes do reservatório, drenos e túneis hidráulicos.

A aparência das superfícies das estruturas hidráulicas que sofrem erosão por abrasão é normalmente lisa e polida. Esta aparência é facilmente diferenciada da superfície de concreto que sofreu cavitação, pois esta apresenta buracos ou cavidades (Kormann, 2002).

Conforme mostrado por Mac Innis (1997), a erosão causada ao concreto pela ação abrasiva de materiais no escoamento pode ser tão intensa quanto a erosão por cavitação, mas, geralmente, não causa danos tão catastróficos.

A taxa de desgaste ou profundidade dos danos é dependente de alguns fatores, tais como tamanho, forma, dureza, quantidade de partículas sendo transportadas no leito do fluxo, velocidade da água e qualidade do concreto (Mehta e Monteiro, 2008).

A resistência à abrasão é uma propriedade do concreto endurecido, e no decorrer dos anos torna-se uma grande preocupação, pois uma deficiência na resistência pode interferir com a durabilidade das estruturas.

Segundo Aguiar (2006), o escoamento de água sem a presença de partículas sólidas em suspensão, em geral, não danifica o concreto, mas a erosão provocada por partículas grossas, como areia ou brita, pode ser tão severa como a cavitação, que tende a aumentar com a perda da camada superficial.

### **Características dos materiais resistentes à abrasão**

Conforme citado por Leonardo (2002), a resistência à abrasão é uma característica importante nas superfícies sujeitas ao desgaste. De modo geral, a resistência à abrasão do concreto cresce proporcionalmente com a sua resistência à compressão, que depende muito do tipo, da granulometria dos materiais e da coesão entre as partículas, além da exsudação.

A vida útil do concreto pode ser reduzida sob condições de ciclos repetidos de atrito, principalmente quando a pasta de cimento possuir alta porosidade, baixa resistência e for inadequadamente protegida por agregados com pouca resistência ao desgaste superficial (Mehta e Monteiro, 2008).

Logo, quanto maior a resistência, menor a permeabilidade e a porosidade de um concreto, menor será o desgaste superficial causado por abrasão. Conforme Kormann (2001), a resistência dos concretos ao desgaste por abrasão é regida por vários fatores: a dosagem do concreto, a natureza do aglomerante, a relação água/cimento, as características do agregado gráudo (natureza petrográfica, resistência à abrasão e à compressão, dimensão máxima, granulometria, dosagem), assim como a aderência entre os agregados e a pasta de cimento.

A pasta de cimento vem a ser a mistura de água e cimento, responsável pela aderência dos agregados durante o processo de hidratação. A resistência do concreto, fundamentalmente, depende da relação água/cimento, que é um número adimensional, obtido da divisão da quantidade de água pela quantidade de cimento. Quanto mais baixa for a relação água/cimento, maior a resistência do concreto.

Segundo autores como Almeida (2000) e Gebler (2001), também interferem na abrasão as características do concreto no estado fresco, ou seja, a segregação, a exsudação, o teor de ar incorporado, a compactação, a cura e o acabamento superficial.

As superfícies submetidas ao desgaste à abrasão exigem da engenharia inovações tecnológicas e materiais com melhor desempenho ao desgaste superficial, sendo recomendado, segundo Almeida (2005), o concreto de alto desempenho, que é o concreto com baixa relação água/cimento, tratando-se do material mais promissor em termos de garantia de uma vida útil ampliada, com maiores resistências mecânicas e químicas. A resistência à abrasão deve ser encarada como um fator crítico do projeto nas estruturas hidráulicas de concreto, segundo Aïtcin (2000).

### **3.1.3- Erosão por cavitação**

#### **Mecanismo da cavitação**

Na Engenharia Hidráulica a cavitação é tida como um fenômeno dos mais complexos, seja pelo seu entendimento, seja pelos diversos parâmetros que a influenciam, seja pela grande dificuldade de fazer sua simulação em laboratório (Kormann, 2001).

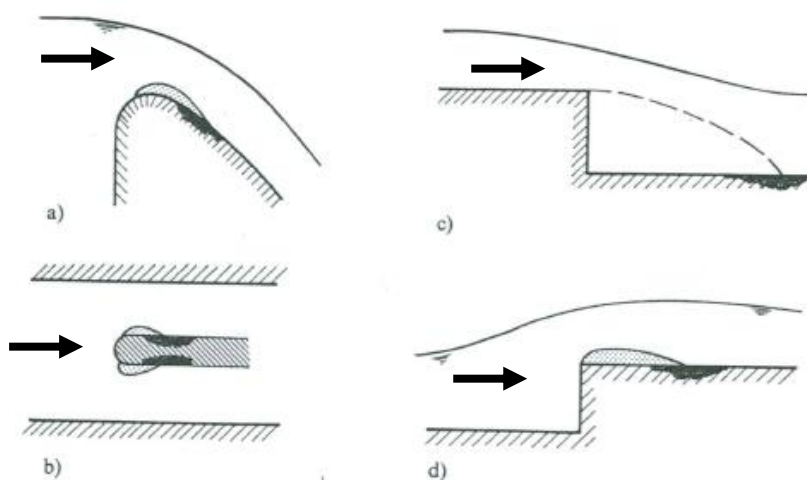
Segundo Baptista e Lara (2002), quando a pressão do líquido se iguala à pressão de vapor, este se evapora. Este processo é denominado evaporação quando isto ocorre por aumento da temperatura, permanecendo a pressão externa constante. Mas quando o fenômeno acontece devido à redução da pressão local, mantendo-se constante a temperatura, o processo é conhecido como cavitação.

Tullis (1989) cita que a cavitação consiste na rápida vaporização e condensação do líquido, sendo o processo análogo à ebulição, enquanto, segundo (Kormann, 2002), na cavitação ocorre redução de pressão no interior das bolhas de gás, enquanto na ebulição há um aumento de pressão.

As estruturas hidráulicas estão sujeitas à ação de diversos mecanismos que podem colocá-las em situação de risco, sendo a cavitação particularmente importante, requerendo que as estruturas de concreto tenham superfícies resistentes à estes mecanismos. Quando aparece o dano na estrutura provocado pela cavitação, a área danificada se transforma numa nova fonte de cavitação, criando outra danificada a jusante, com danos ainda maiores, segundo Dalfré Filho (2002).

Dentre as fontes geradoras de cavitação estão as mudanças bruscas na direção do escoamento e as irregularidades superficiais. Quanto às irregularidades superficiais, no que se referem à textura da superfície, elas podem ser isoladas ou uniformemente distribuídas. Nos dois casos a cavitação acontece devido à turbulência, e a ação que a produz é a mudança na direção do escoamento no local da irregularidade. As principais irregularidades que podem existir na superfície que delimita o escoamento são os degraus, rugosidades, mudanças na inclinação e curvaturas, bem como saliências em juntas.

A Figura 3.2 mostra os casos típicos onde o fenômeno da cavitação pode aparecer devido à mudança na direção do escoamento.



**Figura 3. 2** – Efeitos típicos de cavitação: a) vertedor de barragens, b) obstáculos dentro de um canal ou conduto, c) fluxo negativo, d) fluxo positivo (Adaptado de Sinniger,1989)

Segundo Neville (1997), a principal característica do fenômeno é a instabilidade das bolhas, visto que, quando são transportadas pelo fluxo para regiões de pressões mais elevadas, elas colapsam ou implodem repentinamente. A água preenche velozmente os pequenos vazios e pressões altíssimas são atingidas em áreas infinitesimais e em intervalos de tempo extremamente pequenos. Com a repetição deste fenômeno nas mesmas partes do concreto, resultam as escarificações, conforme mostrado na Figura 3.3.

Como a cavitação não ocorre uniformemente, a aparência da superfície que sofreu esta erosão é irregular, riscada e perfurada, aspecto oposto das superfícies que sofreram abrasão (Neville, 1997).



**Figura 3. 3** - Efeitos da cavitação em estrutura hidráulica de concreto (Latorre, 2002)

Segundo Tullis (1989) e Miller (1984), os maiores problemas criados pela cavitação são: barulho, vibração, danos por erosão, flutuação de pressão e perda de eficiência ou capacidade do fluxo. Em casos extremos o fenômeno pode causar instabilidade por causa da destruição do sistema.

A experiência em inúmeras inspeções feitas em galerias de águas pluviais demonstra que as erosões por cavitação, nestas estruturas, ocorrem logo após as regiões com degraus, quando ocorre a mudança na direção do escoamento, sendo caracterizadas por uma redução na espessura do concreto, podendo chegar a enormes crateras, consumindo totalmente a laje de fundo das galerias.

Danos podem se desenvolver muito rapidamente depois de iniciado o processo. Em muitos casos, a simples substituição do concreto erodido não garante o bom desempenho em longo prazo, necessitando de técnicas de reparo mais aprimoradas, que envolvem a utilização de materiais mais resistentes e tratamentos superficiais mais adequadas.

Quando as bolhas colapsam, a pressão chega a atingir valores da ordem de 108 atm, segundo Borsari (1986). E quanto menores as bolhas e maiores suas quantidades, maior será a deterioração do concreto.

A cavitação pode ocorrer tanto em dutos fechados como em canais abertos; neste último caso, mesmo em velocidades em torno de 7 m/s, segundo Mehta e Monteiro (2008). Três causas

podem ser responsáveis pela queda de pressão, às vezes, bem abaixo da atmosférica: sifonamento, inércia na parte interna de uma curva e irregularidades da superfície. Se a força ocasionada pela implosão for superior à força de coesão do material da superfície, este, provavelmente, deverá ficar danificado.

Tatro (2000), no Relatório do ACI Comitê 210.1 R-94, apresenta diversos casos históricos de estruturas de concreto que foram danificadas pela ação da erosão por cavitação, particularmente barragens de concreto, como o mostrado a Figura 3.4, onde se observa a enorme cratera aberta na Glen Canyon Dam, EUA.



**Figura 3. 4** - Efeitos da erosão no túnel da barragem Glen Canyon Dam (Tatro, 2000)

A cavitação no concreto não é tão documentada quanto nos metais, porém, o desenvolvimento da erosão por cavitação é semelhante ao que ocorre em superfícies metálicas. A deterioração ocorre rapidamente após o início de exposição ao fenômeno, deixando a superfície de concreto com uma aparência áspera e esburacada.

Segundo Kormann (2002), microfissuras na superfície do concreto, bem como entre a argamassa e os agregados, contribuem para que os danos provocados pela cavitação sejam maiores ainda. Na região micro fissurada do concreto ondas compressivas de água podem causar tensões de tração que propagam as microfissuras já existentes. A repetição do esforço causado pelas ondas pode fazer com que o material se deteriore e pedaços do mesmo se descolem, criando ressaltos na superfície. Borsari (1986) explica que a erosão por cavitação tende a desgastar a argamassa, promovendo o descolamento dos agregados. E ocorrido o

desgaste pela cavitação, ele só tende a aumentar a intensidade do fenômeno, pois com a deterioração da argamassa, os agregados ficam expostos, formando novas irregularidades, favorecendo o fenômeno cavitante.

Vários autores, entre eles Graham (2000) e Tullis (1989), apresentam um índice de cavitação, que é uma medida adimensional usada para caracterizar o quanto suscetível é um sistema para cavitatar. Diversas formas do índice de cavitação foram propostas, cada uma baseada nas condições de referência mais facilmente medidas.

Segundo Dalfré Filho (2002) e Millher (1984), nas situações práticas, a avaliação do índice de cavitação ( $\sigma$ ) depende do local de referência, geralmente apresentado por:

$$\sigma_b = \frac{P_h - P_v}{\rho v_b^2 / 2}$$

em que ( $P_h$ ) é a pressão efetiva no plano do obstáculo, ( $P_v$ ) a pressão efetiva do vapor da água, ( $\rho$ ) a massa específica e ( $V_b$ ) a velocidade no plano do obstáculo .

### **Tipos de cavitação**

Segundo alguns autores, como Andrade (2005) e Tullis (1989), há dois tipos de cavitação: gasosa e vaporosa. Ocorre a cavitação gasosa quando há uma grande quantidade de gases suspensos na água, sendo este processo cavitante lento. Este fato permite o aumento da quantidade de ar no interior da bolha de vapor, como consequência da desgaseificação do líquido. E devido ao aumento no volume de ar, tanto o crescimento, quanto o rompimento das bolhas, acontecem mais lentamente, fazendo com que a cavitação gasosa não seja tão agressiva, podendo, neste caso, nem romper as bolhas.

A cavitação vaporosa ocorre quando há pouco ar no interior do fluxo de água, e no interior das bolhas há somente o vapor. Aqui sim, o líquido vaporiza e as pressões geradas pelo rompimento das bolhas são elevadas, podendo causar sérios danos às estruturas hidráulicas.

Segundo Quintela e Ramos (1980), quanto às condições da estrutura, a experiência demonstra que há quatro razões básicas responsáveis para haver danos por cavitação:

- a) irregularidades na superfície que limitam o escoamento, bem como a falta de qualidade do acabamento desta superfície (restos de argamassa não retirados, exposição de armaduras, físsuras, entre outros);
- b) presença de elementos estruturais, como juntas de dilatação, blocos de amortecimento, mudanças de seção transversal, entre outros;
- c) qualidade inadequada dos materiais das superfícies que delimitam o escoamento;
- d) outros fatores, como corrosões química e mecânica.

Quanto ao fluxo, são três as condições necessárias para a ocorrência da cavitação:

- a) a existência de núcleos ou bolhas dispersos no meio líquido;
- b) a pressão, num dado ponto do escoamento, deverá atingir a pressão de vapor ou valor próximo a esta;
- c) A pressão, ao redor da bolha, deverá ser superior à de vapor, causando seu rompimento.

### **Medidas de proteção contra a ocorrência da cavitação**

Frente ao avanço que houve nos estudos da cavitação nas últimas décadas, particularmente voltado às grandes estruturas hidráulicas, elas devem ser projetadas para serem mais resistentes aos efeitos da cavitação. Para tal, é necessário que o projeto hidráulico seja ausente de curvaturas abruptas e o acabamento da superfície do concreto seja muito resistente, liso, alinhado, sem defeitos como saliências e depressões (Neville, 1997).

As medidas de proteção quanto à degradação por cavitação são:

- a) inexistência de irregularidades;
- b) uso de concretos especiais, blindagens, ou películas protetoras em trechos onde a probabilidade de ocorrência de cavitação seja maior;
- c) arejamento do fluxo por toda superfície de escoamento.

### **Características dos materiais resistentes à cavitação**

Dalfré Filho (2002), em seu trabalho de desenvolvimento de equipamentos para avaliação da erosão por cavitação, concluiu que a resistência à erosão é determinada pela adesão do aglomerante aos inertes e pela própria coesão do aglomerante, devendo também ser considerados a homogeneidade da estrutura do concreto, a utilização de inertes ativos do ponto de vista de adesão e os processos de lançamento do concreto.

Diversos autores recomendam o uso de concretos de alto desempenho e superfluidificantes, que são aditivos utilizados no concreto para deixá-lo com maior plasticidade, entre outras características.

Quintela e Ramos (1980) chegam a sugerir o uso de chapas de aço no perímetro de jusante, concretos impregnados com polímeros e concretos revestidos com resina epóxi, que segundo os autores, têm resistência à erosão muito superior ao concreto convencional.

Segundo Almeida (2000), o fortalecimento da ligação entre os agregados e a pasta de cimento é primordial para a elevação da resistência do concreto, já que esta é a parte mais fraca da microestrutura do material.

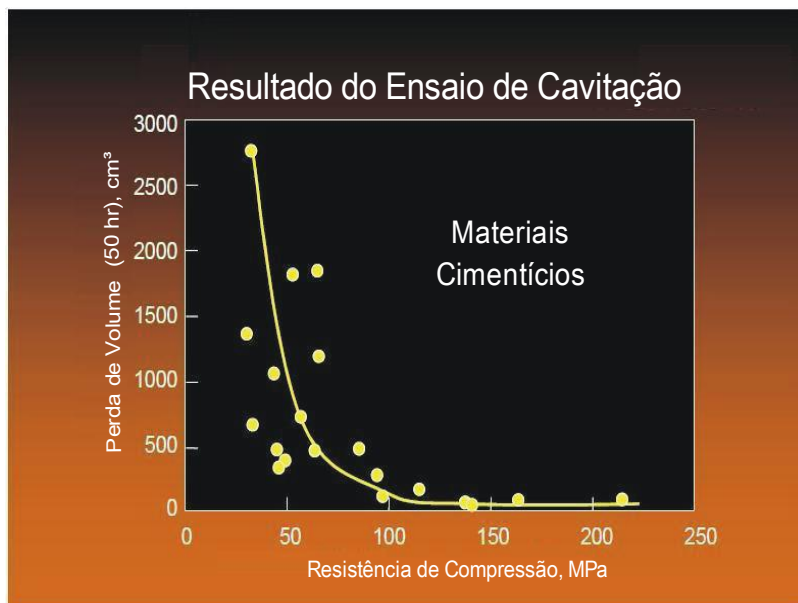
Outros autores, como Gillespie (1998), Mendis (2003) e Walters (1998), comentam também que o aumento da resistência da superfície do concreto é obtido quando são revestidas por polímeros, como as resinas epóxi.

Outras composições utilizadas para combater os desgastes nas superfícies das estruturas hidráulicas são o concreto com fibras e a conjugação de concreto com fibras, polímeros e adições, como a sílica ativa ou o metacaulim.

Segundo Dal Molin (2005), a incorporação de adições minerais em geral resulta na produção de materiais cimentícios com melhores características técnicas, já que modificam a estrutura interna da pasta de cimento hidratada, reduzindo a porosidade do concreto. As adições são partículas muito finas, bem mais finas que as do cimento, que adicionadas ao concreto propiciam uma melhora na microestrutura do material, diminuindo sua porosidade e permeabilidade, aumentando conseqüentemente a sua durabilidade. A sílica ativa é um subproduto gerado a partir da produção de ferro-ligas e silício metálico, enquanto o metacaulim é oriundo do processo de calcinação e posterior moagem de argilas com altos teores de caulinita, como a argila caulínica e o caulim.

McDonald (2002) realizou uma pesquisa de avaliação de materiais para reparos de erosão em estruturas hidráulicas. O autor cita que a metade das 600 estruturas hidráulicas pertencentes, ou operadas, pelo “U.S. Army Corps of Engineers” tem sérios problemas de erosão, divididos igualmente entre cavitação e abrasão. Vários materiais estão sendo testados em dispositivo tipo Venturi para serem utilizados nos reparos, como materiais de base de cimento Portland, cerâmica com epóxi, metais, fibras reforçadas com epóxi, poliuretano, entre outros.

Nos testes de cavitação feitos em laboratório por McDonald (2002) observou-se, após 50 horas, a correlação entre a perda de volume de concreto e a resistência à compressão do concreto testado. Constata-se que um incremento na resistência do concreto a partir de 35 MPa corresponde a uma relevante redução na perda de volume, mas acima 70 MPa a perda de volume é muito pequena, conforme mostrado na Figura 3.5.

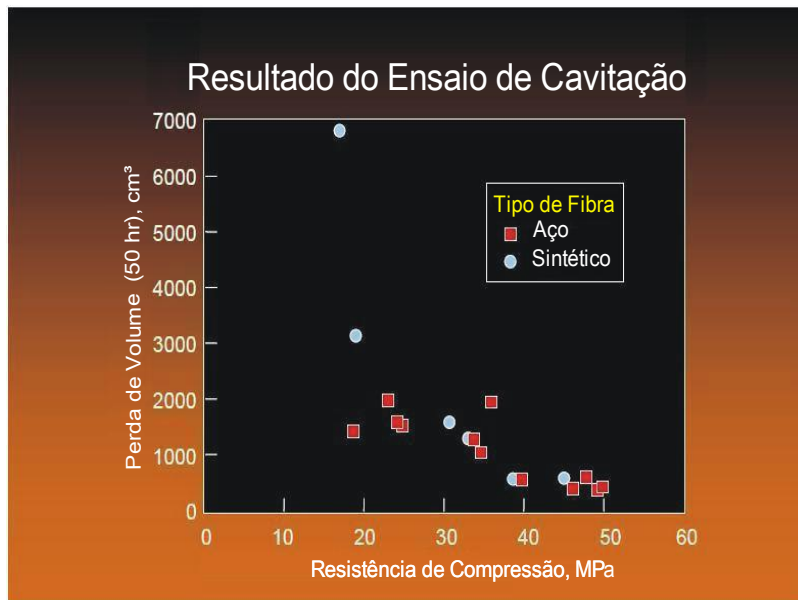


**Figura 3. 5** - Perda de volume de concreto versus resistência (Adaptado de McDonald, 2002)

Ainda referente a este trabalho, feito dentro do programa de pesquisa para materiais e sistemas de alto desempenho (High Performance Materials and Systems Reserch Program - US Army Corps of Engineers), a resistência à cavitação do concreto pode ser incrementada com a adição de sílica ativa e a redução da relação água/cimento, sendo que o aumento é atribuído à maior compacidade e resistência à compressão do concreto. A adição de látex também aumentou a resistência à cavitação no concreto convencional, com redução de 40% da perda de massa devido ao aumento da aderência da pasta de cimento aos agregados.

Diversos materiais estão sendo testados para reduzir os danos da cavitação, mas o mais correto é utilizar um projeto hidráulico apropriado e práticas de construção corretas, conforme citado por McCall (2005).

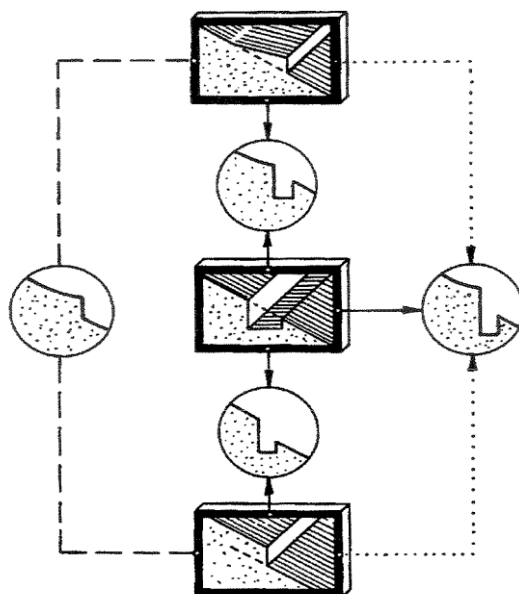
Foram feitos também testes com fibras de aço e sintéticas (nylon e poliuretano) adicionadas ao concreto, que, dentro do esperado, aumentaram a resistência à cavitação com o aumento da resistência à compressão, mas não houve diferença significativa nos desempenhos das fibras de aço ou sintéticas, conforme Figura 3.6.



**Figura 3. 6** - Efeitos do tipo de fibras na resistência à cavitação (Adaptado de McDonald, 2002)

### Aeração do escoamento das estruturas hidráulicas

Uma das mais notáveis inovações na área das construções hidráulicas visando combater os efeitos da cavitação é a aeração das correntes líquidas, quando esta é provocada por irregularidades na superfície, mediante adoção de dispositivos de arejamento (aeradores) conforme mostra a Figura 3.7.



**Figura 3. 7** - Tipos de aeradores (Graham, 2000)

Conforme citado por Dalfré Filho (2002), nos escoamentos com superfície livre, a introdução de ar pode se fazer naturalmente através da superfície livre ou aeradores. Estes dispositivos consistem em ranhuras, rebaixos e defletores, sendo que, em certos casos, há a necessidade de

recorrer a poços de aeração para assegurar o transporte de ar desde o exterior para os aeradores.

A introdução do ar nos escoamentos torna o meio ar-água compressível e elástico, capaz de absorver os impactos das ondas de pressão que se formam em consequência do colapso das bolhas de cavitação, eliminando ou reduzindo de forma significativa a erosão por cavitação.

### **3.1.4- Erosão por ataque químico e biológico**

#### **Aspectos gerais**

Erosão por ataques químicos é outra causa importante de deterioração das estruturas hidráulicas de concreto. As superfícies de concreto podem sofrer degradação estando dispostas em contato com solos que contenham compostos de sulfato, que são altamente reativos com os produtos da pasta de cimento (Kormann, 2002).

As estruturas de concreto podem ter alterações na composição de sua massa, pois os produtos resultantes da hidratação do cimento são susceptíveis às reações que podem ser provocadas pela presença da água e por elementos contidos nesta, segundo Neville (1997). A água contaminada pode agir como solvente dos diversos compostos do cimento Portland endurecido e de agentes agressivos do meio. Se a água contiver ácidos e sais reagentes dissolvidos em seu meio, os efeitos abrasivos podem ser ainda piores.

Quando ocorre a solubilização dos elementos resultantes da hidratação do cimento e formação de outros compostos, e estes forem solúveis, poderão ser lixiviados ou não. Se estes compostos não forem carreados, poderão expandir-se no mesmo local onde foram formados, causando tensões localizadas.

Águas contendo restos de vegetais (turfa) e de certos minerais em decomposição apresentam-se ácidas e, portanto, agressivas às superfícies das estruturas de concreto. Quanto menores forem as dimensões da estrutura, mais acentuados serão os desgastes, enquanto os danos nas estruturas maiores poderão não ser tão significativos.

Devido ao elevado pH do concreto, raramente microorganismos conseguem desenvolver-se nas estruturas. Porém, em regiões tropicais, alguns tipos de algas, fungos e bactérias fixam-se nas superfícies de concreto e utilizam o nitrogênio do ar como fonte de energia. Assim sendo, com o metabolismo destes, há formação de ácido nítrico, que é agressivo ao concreto (Neville, 1997).

Os fatores determinantes para que ocorram ataques químicos no concreto das estruturas hidráulicas são os elementos resultantes da hidratação do cimento, vulneráveis à presença de água e compostos agressivos dissolvidos, temperatura, umidade e condições do meio no qual as estruturas estiverem inseridas.

Os compostos resultantes da hidratação do cimento mais vulneráveis às reações são o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e os silicatos de cálcio hidratados (C-S-H). Se o concreto contiver agregados calcários, estes também poderão sofrer alterações químicas deletérias.

O potencial hidrogênico (pH) da água dos reservatórios também é responsável pela agressividade às estruturas de concreto. Mehta e Monteiro (2008) afirmam que qualquer meio com pH abaixo de 12,5 pode ser agressivo à pasta de cimento endurecida. Assim, toda água seria nociva ao concreto, porém, a resistência à agressividade está diretamente relacionada com a permeabilidade. Quanto a este aspecto, Neville (1997) explica que, se o pH da água estiver entre 5,5 e 6,5 o ataque aos compostos resultantes da hidratação será brando, abaixo de 5,5 será severo, e se estiver abaixo de 4,5 será muito danoso às estruturas de concreto.

Conforme comenta Canovas (1988), a água, quando não contém substâncias nocivas, é um bom aliado do concreto, especialmente durante a sua fase de cura. Entretanto, quando é pura ou traz dissolvidas substâncias químicas procedentes do ar, da terra ou de produtos químicos de despejo, converte-se em grande inimigo.

Segundo Kormann (2002), qualquer que seja o contato da estrutura com água, sendo esta dura ou mole, será nocivo para a estabilidade química do concreto. A dureza da água é definida em termos da concentração dos cátions cálcio e magnésio - geralmente acompanhados dos ânions carbonato, bicarbonato, cloreto e/ou sulfeto. Em concentrações acima de 150mg/l, a água é classificada como *dura*. Teores entre 150 e 75mg/l, como *moderadas* e, abaixo de 75mg/l é chamada de *água mole*. A formação de água dura é facilitada por temperaturas baixas e condensação de neblina ou vapor e, a água mole é decorrente das chuvas ou fusão de gelo ou neve. Esses dois tipos de água contêm pouco ou nenhum cálcio. E, sendo o hidróxido de cálcio o componente mais susceptível à hidrólise, fato agravado se a água presente for de um desses dois tipos citados, ocorrerão o carreamento e a lixiviação do concreto de maneira bastante agressiva.

Apesar de existirem diversas situações em que ocorre deterioração por ataques químicos, as mais relevantes, que geram erosão nas superfícies das estruturas hidráulicas de concreto, são os sulfatos, reação álcali-agregados e corrosão biogênica, apresentadas a seguir.

### **Deterioração causada por sulfatos**

Os sulfatos podem ter origem nos materiais que compõem o concreto, podendo estar na água de amassamento, nos agregados e no próprio cimento, ou no contato do concreto com os solos ou águas ricas com este agente, podendo penetrar desde o exterior por difusão iônica ou por sucção capilar. O ataque produzido por sulfatos é devido à sua ação expansiva, que pode gerar tensões capazes de fissurar o concreto, conforme mostrado na Figura 3.8.

A presença de sulfatos solúveis, principalmente aqueles de sódio, cálcio e magnésio, é comum em áreas de operação de minas e indústrias químicas. Sódio e cálcio são os sulfatos mais comuns nos solos, águas e processos industriais. Sulfatos de magnésio são mais raros, porém mais destrutivos.

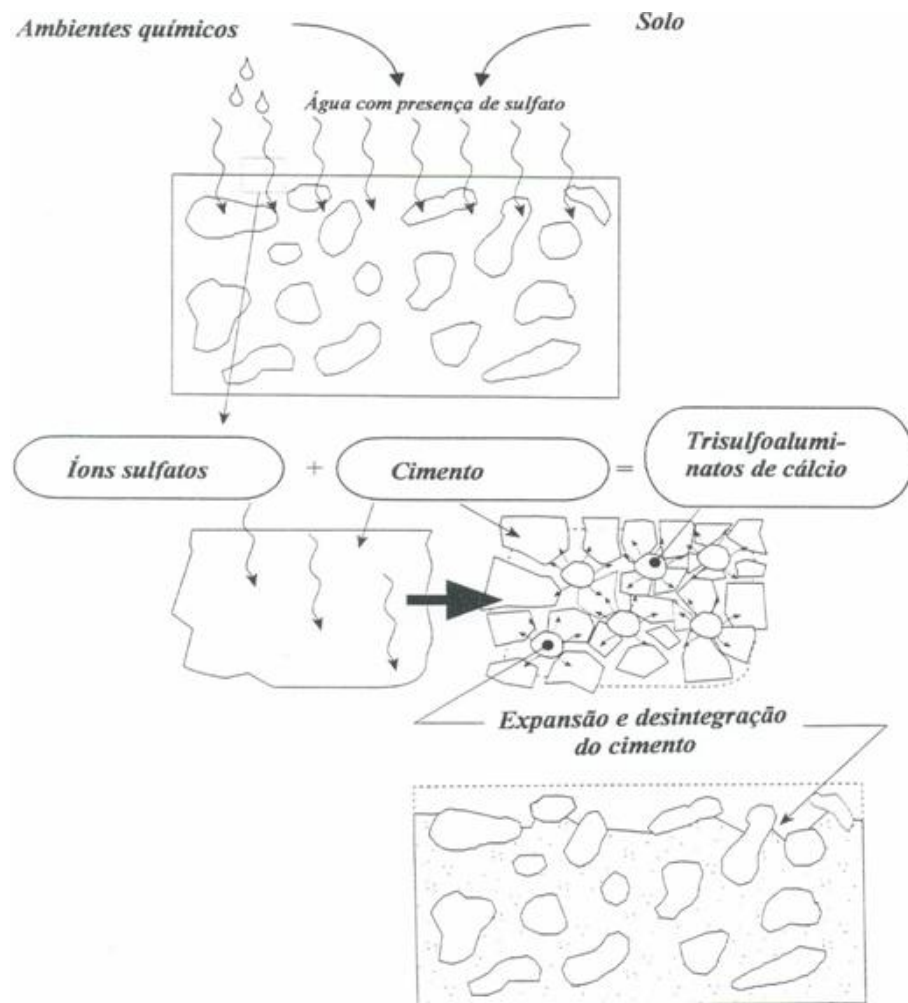
Todos os sulfatos são potencialmente danosos ao concreto, reagindo com a pasta de cimento hidratada. No ataque, os íons sulfatos reagem principalmente com o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  e o aluminato tri-cálcico  $\text{C}_3\text{A}$ , originando a etringita e o gesso, causando expansões que exercem pressão e desintegração da pasta de cimento.

Pode-se aumentar a resistência do concreto contra o ataque de sulfatos através da redução da relação água/cimento, com o uso de cimento resistente a sulfatos, com baixo teor de aluminato tri-cálcico, e com a introdução de proporções adequadas de pozolanas, como a sílica ativa, metacaulim e cinzas volantes (Emmons, 1993).

Conforme comentado por Mehta e Monteiro (1994), geralmente os compostos de sulfato têm origem natural nas águas, mas podem ser provenientes de agrotóxicos ou dejetos industriais. O ataque por sulfatos é influenciado por alguns fatores, como a quantidade e natureza do sulfato, o nível d'água em contato com o concreto e sua variação sazonal, o fluxo da água subterrânea e porosidade do solo, a forma da estrutura e a qualidade do concreto.

Importante composto formado pela reação com sulfato é a etringita, que é o produto resultante da reação do sulfato de cálcio com o aluminato de cálcio hidratado presente na pasta de cimento. Além de ser um composto extremamente frágil, a formação da etringita causa expansão, podendo fissurar o concreto. Mas os problemas de ataque por sulfatos não

consistem apenas nas reações expansivas e na fissuração, mas também há redução da resistência do concreto devido à perda de coesão da pasta de cimento e aderência da pasta aos agregados (Neville, 1997).



**Figura 3. 8** - Desintegração do concreto por ataque de sulfatos (Adaptado de Emmons, 1993)

### **Deterioração causada por reação álcali-agregado**

A reação álcali-agregado, conhecida também pela sigla RAA, é maléfica ao concreto, pois pode causar expansão e fissuração, fazendo com que o concreto perca sua resistência e durabilidade, conforme Figura 3.9 (Revista Técnica, 2010). Estes tipos de reações envolvem os álcalis presentes no cimento e os elementos reativos que os agregados possam conter como compostos de sílica e minerais silicosos, sendo que a presença de água e umidade é determinante para a expansão (Forster, 1998).



**Figura 3. 9** - Topo de pilar de vertedouro de barragem afetado por RAA  
(Revista Técnica, 2010)

Os ensaios para verificar a possibilidade de ocorrer esta reação estão preconizados na ASTM C 1260 e pela ABNT NBR 15577, sob o título “Agregados – reatividade álcali-agregados”, conforme citado por Battagin (2008).

As composições químicas do cimento, bem como a quantidade, tamanho e tipo do agregado reativo, composição química do gel de silicato alcalino formado, são determinantes quanto à existência de reações álcali-agregado e seu grau de severidade.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), cimentos que contêm mais que 0,6% de óxido de sódio equivalente são altamente alcalinos, e se utilizados conjuntamente com agregados reativos aos álcalis, grandes expansões poderão ocorrer no concreto. Se o conteúdo for abaixo deste valor, os cimentos são classificados como de baixa alcalinidade e os danos não deverão ser graves. Porém, se o consumo de cimento for elevado, mesmo para porcentagens de óxido de sódio abaixo deste valor, as estruturas poderão ser comprometidas.

As reações álcali-agregado também são influenciadas pela presença de íons hidroxila e íons metálico-alcalinos. O composto hidroxila é proveniente da grande quantidade de  $\text{Ca(OH)}_2$  dos cimentos hidratados e permanecem no fluido dos poros. A reação expansiva dependerá da disponibilidade de íons metálico-alcalinos, que também podem ser fornecidos por outros meios, como aditivos, agregados contaminados por sais, entre outros (Mehta e Monteiro, 2008).

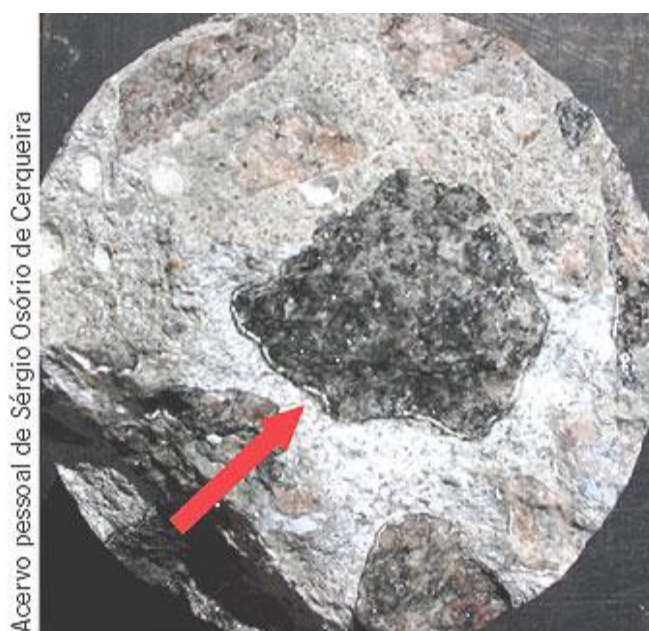
Resumidamente, segundo Kuperman (1997), os principais fatores que determinam as reações álcali-agregado são o conteúdo de álcalis no cimento, o consumo de cimento, a existência de

íons alcalinos provenientes de outras fontes, o tamanho, a quantidade e a reatividade do componente reativo dos agregados, a existência de água, a umidade e a temperatura do meio ambiente.

Segundo Hasparyk (2005), há poucos pesquisadores com conhecimento sobre RAA no Brasil e no mundo. O mais importante é que desde a descoberta da reação vários pesquisadores se interessaram em estudar o assunto, contribuindo de forma ímpar no entendimento do processo químico e na identificação dos minerais reativos, bem como, nas consequências e fatores envolvendo casos reais de estruturas afetadas por esta manifestação patológica.

Priszkulnik (2005) cita que em aproximadamente 35 países existem diversas obras com estruturas de concreto afetadas por reação álcali-agregado. No Brasil o problema da reação só foi conhecido na década de 1960, quando da construção da barragem de Jupia, entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul.

A Figura 3.10 apresenta uma foto referente a uma amostra de concreto com reação álcali-agregado, onde podem ser observados os detalhes desta reação, muito danosa para as estruturas.



**Figura 3. 10** – Detalhe da reação álcali-agregado: a seta indica a borda da reação circundando o agregado graúdo (Figuerôa e Tibério, 2007)

Embora tenham sido registrados apenas três casos da ocorrência da RAA em barragens e usinas hidroelétricas (UHE) no Brasil, sabe-se que os números reais correspondem a dezenas de casos, que se tornaram uma grande preocupação para a engenharia brasileira quando se

constatou que uma das causas da queda do Edifício Areia Branca na cidade de Recife (PE), em outubro de 2004, foi o fenômeno da RAA nas fundações do prédio, segundo Figuerôa e Tibério (2007).

Uma das precauções quanto à existência de reações álcali-agregado é o estudo da quantidade de álcalis no cimento, assim como da reatividade do agregado a ser utilizado. A utilização de cimentos com baixa concentração de álcalis auxilia na inibição dessas reações. Também a adição de pozolanas, como a escória granulada de alto forno e a sílica ativa, contribuem na diminuição da concentração de álcalis, pois estes, quando presentes nestas adições, são insolúveis em meio ácido, reagem com o  $\text{Ca(OH)}_2$  e não reagem com os agregados (Mehta e Monteiro, 2008).

### **Deterioração causada por corrosão das armaduras**

Segundo comenta Song (2007), as estruturas de concreto armado tem o potencial para serem duráveis e capazes de suportar as diversas condições ambientais. Contudo, falhas estruturais ocorrem devido à corrosão das armaduras, muitas vezes, de forma precoce.

Os metais encontram-se na natureza geralmente formando compostos tais como óxidos e sulfetos, com outros elementos. Para usá-los na forma elementar é preciso extrair o metal mediante um processo de redução, o que requer aplicar certa quantidade de energia. O processo inverso pelo qual o metal volta ao seu estado natural é acompanhado de uma redução de sua energia, isto é, tem lugar através de uma reação espontânea. Este processo, que corresponde a uma oxidação, é conhecido por corrosão, e representa a lenta destruição do metal.

A corrosão metálica, quando tem lugar em meio aquoso, é um fenômeno eletroquímico, isto é, supõe-se a existência de uma reação de oxidação e uma de redução, e a circulação de íons através do eletrólito. Assim, sobre a superfície do metal são geradas duas zonas, atuando como ânodo aquela em que se produz a oxidação do metal, liberando elétrons, que migram através do metal em direção a outro lugar, onde reagem para produzir uma redução de alguma substância existente no eletrólito (Andrade, 1992).

A corrosão da armadura do concreto pode também ocasionar expansão, fissuração e lascamento do concreto na região afetada. Além da perda de massa, a estrutura de concreto pode ficar comprometida, pois haverá diminuição da seção de armadura, além da perda de aderência entre o concreto e a mesma. Segundo Cascudo (2005) é importante destacar que a

corrosão é um processo evolutivo, que tende a agravar com o seu decurso. Em estágios avançados pode comprometer a segurança das estruturas.

A existência de um filme de óxido de ferro na superfície das barras de aço faz com que estes materiais sejam inertes à corrosão. Esta película de óxido de ferro é impermeável e bastante aderente à barra de aço em meios alcalinos. Se não houver íons cloretos dissolvidos, a película de óxido de ferro manter-se-á inerte para pH acima de 11,5. Caso contrário, poderá haver corrosão da armadura (Mehta e Monteiro, 2008).

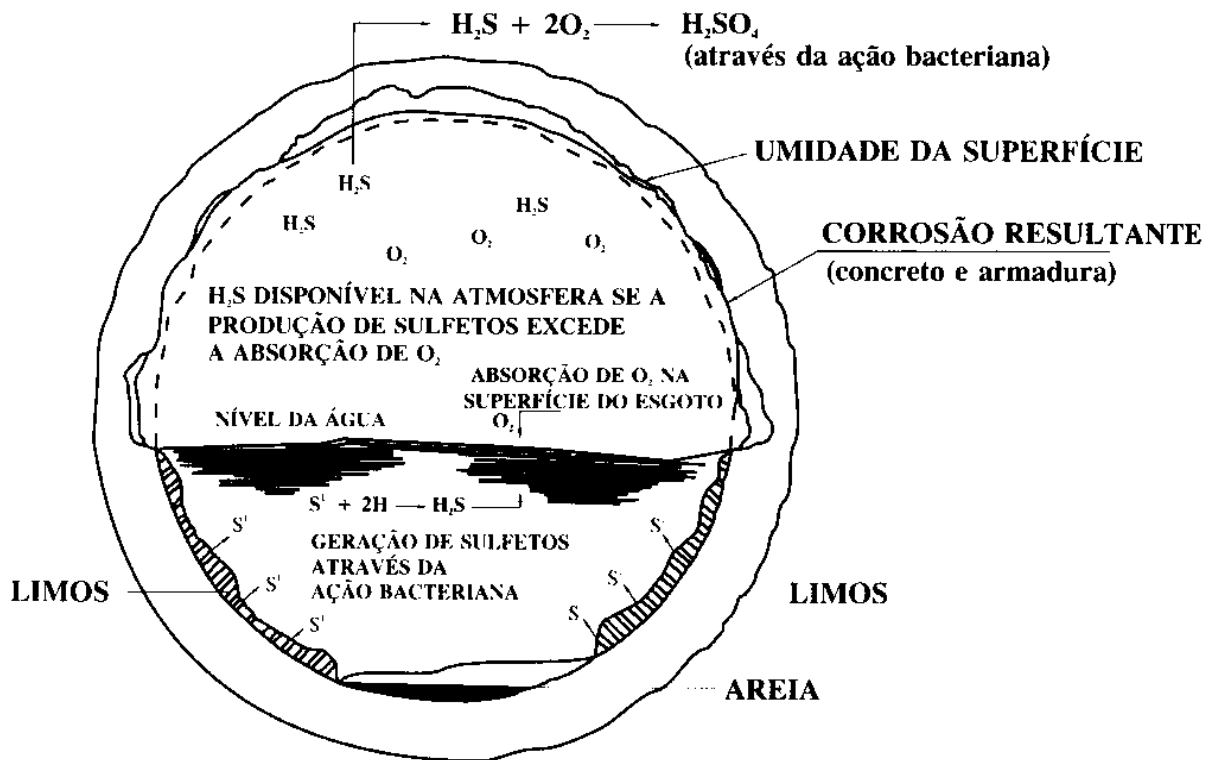
A corrosão que ocorre no concreto armado é, conforme já citado, de origem eletroquímica, podendo ser gerada quando existir dois tipos de metais no interior do concreto (corrosão galvânica), variações nas características superficiais do aço (diferença de potencial eletroquímico), ou quando houver diferenças na concentração de íons dissolvidos na proximidade da superfície do aço, como álcalis, cloretos e oxigênio (Hope, 2001).

Para a ocorrência do processo de corrosão são necessárias as presenças de água e oxigênio, impreterivelmente. E quando o aço oxida, há aumento no volume da barra oxidada, sendo a principal causa da expansão e fissuração do concreto. Para autores como Hope (2003), Kazmierczak (2005) e Helene (1992), é importante a aplicação de sistemas de proteção nas superfícies do concreto para aumentar a vida útil das estruturas. Mas como estes revestimentos, em geral, possuem pouca durabilidade, o ideal é melhorar a qualidade da massa do concreto como um todo.

### **Deterioração causada por corrosão química e biológica**

Na prática o mais significativo ataque biológico ao concreto é o que ocorre em esgotos. No interior das estruturas com esgotos, em condições anaeróbicas conforme mostrado na Figura 3.11, as bactérias produzem ácido sulfídrico, composto de pouca agressividade ao concreto.

Conforme citado por Nielsen *et al.* (2008), ao escapar de dentro do esgoto para o ar, o ácido sulfídrico vai colocar-se ao alcance de bactérias aeróbicas, que habitam na superfície livre do esgoto. Estas bactérias transformam o ácido sulfídrico em ácido sulfúrico, que é bastante agressivo ao concreto, dando-se um ataque de ácidos de sulfatos, que vai provocar uma rápida degradação da superfície livre interna da estrutura de concreto em contato com o esgoto, com velocidades de ataque na ordem de 5 a 10 mm ao ano.



**Figura 3. 11-** Ambiente dentro de tubulação de esgoto (Lima, 2005)

Dentro dos sistemas construtivos para tratamento de esgotos existem gases de forte odor, entre eles o que mais prevalece é o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), um gás tóxico e com poder de corrosão. O  $H_2S$  é um precursor da formação do ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), que causa a destruição de metal, substratos de concreto e vários outros dentro dos sistemas construtivos. A formação do gás  $H_2S$ , a partir de bactérias e sua conversão em ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), causa o que é chamado de corrosão biogênica sulfúrica, também referida como corrosão microbiológica (Huttl, s/ data).

Atenção especial deve ser dada ao ataque do ácido sulfúrico biogênico, pois se trata do maior potencial de deterioração existente em estruturas de esgotos. A corrosão do concreto causado pelo sulfeto de hidrogênio é reconhecida como um sério problema nas construções hidráulicas que envolvem esgotos, segundo Jesen (2009) e Okabe *et al.*(2007), reduzindo a vida útil a menos de 10 anos.

Os problemas de formação de gás sulfúrico biogênico são bastante conhecidos em estações de tratamento de esgotos. O concreto em contato com o esgoto está sujeito à ação de bactérias, como o *Thiobacillus thiooxidans* e o *Thiobacillus concretivorus*, que oxidam compostos de enxofre presentes no esgoto e os transformam em ácido sulfúrico biogênico. Estas bactérias

são aeróbicas e necessitam da presença de oxigênio e, portanto, a ação oxidante destas bactérias costuma ocasionar corrosão mais intensa na parte superior das estruturas (Silva, 2005). Depois que o gás  $H_2S$  se espalha pelo ar em cima da água de efluentes, uma bactéria anaeróbica do gênero *Thiobacillus* cria colônias na superfície acima da linha de água, metaboliza o gás  $H_2S$  e oxida-o para ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Este processo ocorre em locais onde há uma concentração de  $H_2S$  acima de 2ppm, umidade relativa alta e altos níveis de oxigênio.

Seus processos metabólicos ocasionam valores de pH do ácido sulfúrico biogênico em torno de 2, podendo alcançar valores de até 0,5. As condições favoráveis para a produção do  $H_2S$  são as águas de escoamento com alta pressão, águas com temperaturas elevadas, longos tempos de retenção e baixa velocidade do fluxo, turbulência e agitação.

Segundo comenta Vaughn (2007), a formação do gás sulfídrico ( $H_2S$ ) é proveniente da ação redutora de bactérias anaeróbicas *Desulfovibrio desulfuricans* sobre compostos orgânicos ou inorgânicos de enxofre presentes nos esgotos, e possuem o inconveniente do cheiro de “ovo podre”. Grandes deteriorações podem ocorrer no concreto destas estruturas com perdas que podem chegar a 7 cm de cobrimento do concreto em menos de 5 anos.

O ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ataca a matriz do concreto. O produto primário da decomposição pela corrosão biogênica é o sulfato de cálcio ( $CaSO_4$ ), uma massa branca, pastosa, acima da linha de água. Outro dano causado por esta corrosão é a formação de etringita. Quando o  $CaSO_4$  ou a etringita se formam, estes produtos expansivos podem aumentar a pressão interna, causando microfissuras na camada de cobrimento das armaduras.

Segundo Zhang (2008), os reparos da corrosão biogênica dos esgotos representam aproximadamente 10% do custo total da manutenção das redes de esgotos da Bélgica.

Aguiar e Baptista (2011) comentam que nas galerias de águas pluviais urbanas, devido à contaminação dos fluxos por esgotos clandestinos, a corrosão biogênica provoca severos danos, sendo observadas manifestações patológicas principalmente na face inferior das lajes de teto e na base das paredes, acima da linha de água. Estas anomalias são mais constatadas na região dos degraus e rampas, por causa do aumento da turbulência dos fluxos, quando ocorre maior desprendimento do gás sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ).

### **Medidas de proteção contra a erosão química**

Quanto menor for a permeabilidade do concreto, menores serão os danos causados por ataques químicos que as estruturas poderão sofrer, visto que as reações químicas ocorrem de maneira mais lenta.

Segundo diversos autores como Neville (1997), Scanlon *et al.* (1997), Metelka (2010) e Gebler (2001), é importante ressaltar que a durabilidade e a resistência do concreto aos ataques químicos podem ser aumentadas se o processo de cura for apropriado, garantindo que as reações de endurecimento sejam adequadas, além da possibilidade do uso de cimentos resistentes a sulfatos, redução do  $\text{Ca(OH)}_2$  com a adição de escórias, sílica ativa e pozolanas.

Autores como Nielsen *et al.* (2006), Huffman *et al.* (2003) e Fidjestol (2006) citam que para evitar problemas com a corrosão química e biogênica vários métodos estão sendo investigados, como aperfeiçoar os projetos de forma a minimizar a geração de sulfetos de hidrogenia e aumentar a resistência dos materiais.

Dependendo do tipo de ataque químico, como os produtos resultantes de ações bacteriológicas, pode ser necessário alterar a composição da água, adicionando agentes oxidantes, introduzindo ar comprimido para promover oxigenação suficiente para reduzir a ação de bactérias anaeróbicas.

Além da adequada espessura do revestimento das armaduras, existem membranas protetoras e argamassas de cimento com adição de emulsões de polímeros que têm sido utilizadas com sucesso com o intuito de evitar problemas de corrosão.

#### **3.1.5- Prevenção dos desgastes e manutenção das estruturas hidráulicas**

Reparos em estruturas hidráulicas de concreto, tanto aparentes, como citado por Portela e Kormann (2001) e O'Neill (1997), quanto submersas, citado por Murray *et al.* (1998), devem ser efetuados após avaliação da real necessidade de intervenção local, face às características da deterioração analisada, durabilidade, desempenho ao longo do tempo, facilidade de acesso às estruturas e relação custo/benefício da aplicação dos materiais selecionados.

Os procedimentos recomendados por Nixon (2010), Paul (2004) e Tran (2007) nos trabalhos de prevenção e manutenção das estruturas hidráulicas de concreto podem envolver:

- revisão criteriosa das especificações e registros elaborados durante a construção da obra;
- inspeções locais, procurando-se documentar aparência visual, avarias, possíveis deslocamentos, fissuração, entre outros danos;
- ensaios destrutíveis ou não, com ou sem extração de amostras ou testemunhos.

Considera-se que o monitoramento constante das estruturas é essencial para avaliar o bom funcionamento dos sistemas de drenagem. As inspeções visuais feitas de forma sistemática tem o intuito de verificar os tipos de escombros ou detritos que são carregados pelo fluxo, bem como a aparência da superfície de concreto. As inspeções devem ser periódicas, sendo o espaçamento entre elas determinado pelo tipo da estrutura, seu aspecto geral, evidências de desgastes e grau de interesse à sociedade.

Conforme citado por Wargo *et al.* (2005), quando elaboraram o Guia para Inspeção de Concreto do ACI, dentre as diversas características que devem constar em uma inspeção visual relativa aos desgastes em superfícies do concreto de estruturas hidráulicas, destacam:

- identificação de fissuras, lascamentos, manchas de oxidação e descolamentos de partes da estrutura;
- identificação de irregularidades na estrutura, como saliências, curvaturas e inclinações abruptas, superfícies polidas ou ásperas que podem estar sofrendo abrasão ou cavitação;
- exame das seções transversais para determinar a extensão dos danos;
- investigação da condição do concreto por métodos não destrutivos;
- caracterização da natureza e tamanho dos escombros carregados pelo fluxo.

## **3.2- Manifestações patológicas nas galerias de águas pluviais urbanas**

### **3.2.1- Aspectos gerais**

No item anterior foram apresentadas as origens das manifestações patológicas nas estruturas hidráulicas de concreto de um modo geral, com ênfase nos processos erosivos causados pela cavitação, abrasão e ataques químicos e biológicos.

Neste item serão abordadas as principais manifestações patológicas que são observadas especificamente nas estruturas de concreto das galerias de águas pluviais urbanas, por serem estas o foco deste trabalho de pesquisa.

As galerias de águas pluviais que, normalmente, são construídas sobre córregos existentes, transformando-se em ruas ou avenidas sanitárias, fazem parte dos sistemas clássicos de

drenagem urbana que são baseados na lógica da evacuação rápida das águas das chuvas, através de ações estruturais que requerem altos investimentos por parte das municipalidades, face à sempre crescente expansão das cidades.

Conforme citado por Aguiar e Baptista (2009), com o passar dos anos as estruturas de concreto das galerias de águas pluviais urbanas sofrem um desgaste gradual pelo escoamento das águas, que normalmente possuem sólidos, esgotos clandestinos e contaminações químicas oriundas de efluentes industriais. Os desgastes refletem-se em prejuízos econômicos significativos, pois, por um lado, representam a degradação do significativo capital nelas investido e, por outro lado, implicam em operações de manutenção, na maior parte das vezes, em caráter emergencial.

### **3.2.2- Deteriorações causadas pelos processos erosivos**

Como não poderia ser diferente das demais estruturas hidráulicas de concreto, as galerias de águas pluviais urbanas, também denominadas no trabalho de canais revestidos fechados, sofrem um lento e paulatino desgaste pelos processos erosivos, sejam eles causados pela abrasão, cavitação ou ataques químicos e biológicos.

Conforme Aguiar (2000), o desgaste por abrasão nas superfícies das estruturas de concreto, particularmente as lajes de piso, conforme mostrado na Figura 3.12, é um processo que atinge praticamente todas as galerias devido ao carreamento constante de partículas sólidas em suspensão, como areia, argila, cascalhos, escombros, entre outros.



**Figura 3. 12** – Aspecto polido da laje de piso da galeria do Córrego da Serra (BH) devido ao processo de abrasão

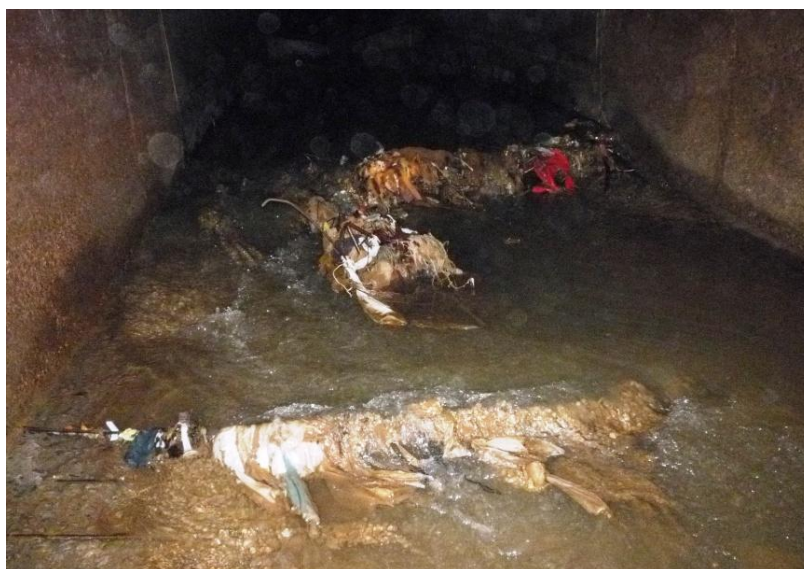
No caso específico de Belo Horizonte, notadamente na bacia do Ribeirão Arrudas, as partículas de minério de ferro oriundas da Serra do Curral, grande maciço deste mineral que circunda a cidade em sua parte sul, por serem muito abrasivas, deixam as superfícies polidas, com exposição dos agregados graúdos.

O nível do desgaste nas faces internas das estruturas, particularmente o piso e base das paredes, depende da qualidade do material empregado na construção e do tempo de exposição, mas é um processo normalmente observado na maioria das galerias de águas pluviais urbanas.

Conforme MacInnis *et al.* (1997), os danos provocados pela erosão por abrasão, em geral, não são tão severos quanto os causados pela cavitação, mas contribuem lentamente e de forma decisiva na degradação das estruturas de concreto, pois causam a redução de espessura dos pisos e das paredes das galerias de concreto.

A perda da camada superior do piso, além de comprometer uma das partes da estrutura das galerias, interfere também no seu funcionamento hidráulico, uma vez que as armaduras ficam expostas e salientes acima da linha de água, causando a retenção de lixos e escombros, reduzindo a velocidade dos fluxos de água, conforme visto na figura 3.13.

A erosão por cavitação é um mecanismo de desgaste muito abordado na literatura, principalmente nas obras hidráulicas de barragem, mas pouco, ou quase nada, citada nas galerias de águas pluviais.



**Figura 3. 13** – Armaduras expostas provocam retenção de lixo, reduzindo a velocidade do escoamento no Córrego das Piteiras (BH)

Nas galerias construídas com declividade mais acentuada, acima de 5%, geralmente existem degraus criados para conformar o perfil do canal e reduzir a velocidade do escoamento, conforme mostrado na Figura 3.14.



**Figura 3. 14** – Galeria da Av. Mem de Sá (BH) foi construída em degraus para reduzir a velocidade do fluxo

Os degraus são caracterizados como rebaixos bruscos (Graham *et al.*, 2000) e são causadores da cavitação. A Figura 3.15 comprova, na prática, a existência da erosão por cavitação logo após os degraus, quando a galeria da Rua Piauí foi ensecada para ser recuperada pela Prefeitura de Belo Horizonte.



**Figura 3.15**– Área com uma erosão por cavitação logo após degraus. Situação observada quando da execução dos trabalhos de recuperação estrutural da galeria da Rua Piauí (BH)

O surgimento de cavidades logo após os degraus é normalmente observado nas galerias que foram executadas com degraus. As cavidades variam de tamanho e profundidade, sendo verificadas enormes crateras, conforme mostrado nas figuras 3.16 e 3.17, com grande risco de colapso da estrutura, requerendo por parte dos responsáveis intervenções urgentes para restabelecer a estabilidade do local, uma vez que ao colapsar, a galeria pode levar consigo edificações, veículos e pessoas que estão ao seu redor.



**Figura 3.16-** Cavitação provocou uma enorme cratera após um degrau na galeria do Córrego da Serra (BH)



**Figura 3.17-** Cratera com profundidade superior a um metro após um degrau na galeria do Córrego da Serra (BH)

Na maioria das galerias observa-se que a cavitação é o mecanismo de desgaste mais recorrente após os degraus, mas não ocorre necessariamente em todos, pois depende do tipo da seção interna, presença de calhas na laje de piso, perfil do canal, da qualidade do material

empregado e do tempo de construção da obra. Uma vez instaurado o processo de desgaste, observa-se que ele é progressivo, tanto a jusante, como a montante do ponto inicial de cavitação (Aguar e Baptista, 2011).

O processo de erosão por ataque químico também é muito observado, contribuindo para a degradação das galerias de águas pluviais urbanas construídas em concreto. Uma das mais relevantes é a corrosão biogênica, causada pela presença da contaminação química dos esgotos residenciais e industriais que são lançados nas galerias de forma clandestina.

Conforme abordado anteriormente, as bactérias, ao escaparem de dentro do esgoto para o ar, vão se colocar ao alcance das bactérias aeróbicas que habitam a superfície livre dos fluxos de água contaminados por esgotos, liberando ácido sulfúrico, bastante agressivo ao concreto, ocorrendo um ataque de ácidos sulfatos, conhecido por corrosão biogênica sulfúrica, causando severas degradações nas estruturas de concreto.

Os efeitos da corrosão biogênica são observados principalmente acima da linha de água mais constante, provocando uma perda de seção de concreto ao longo das paredes, conforme mostrado na Figura 3.18, podendo ser tão severa que pode levar, em alguns casos, à corrosão total do concreto da parede, conforme Figura 3.19.



**Figura 3. 18** - Degradação do concreto por corrosão biogênica na Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão da Onça (BH)

Os efeitos da corrosão biogênica são observados também nas lajes de teto das galerias, quando o gás sulfídrico presente na atmosfera confinada causa a deterioração superficial do concreto, deixando as armaduras expostas. Nas barras de aço, desprotegidas, instaura-se o

processo de corrosão nas armaduras, que vai pouco a pouco consumindo os metais, conforme Figura 3.20, até seu rompimento.



**Figura 3.19-** A severa degradação corroeu toda a base da parede de concreto da galeria do Córrego da Serra (BH)

A exposição e corrosão das barras de aço são mais severas nas obras onde houve deficiência de espessura da camada de cobertura das armaduras, falha construtiva que compromete a durabilidade das estruturas e, lamentavelmente, muito recorrente nas galerias inspecionadas.



**Figura 3.20–** A presença gás sulfídrico e a deficiência de cobertura das armaduras propiciaram a severa degradação da laje de teto na galeria da Av. Francisco Deslandes (BH)

Na região dos degraus há um aumento da turbulência dos fluxos de água, ocorrendo um maior desprendimento do gás sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), podendo levar a uma deterioração severa na face inferior das lajes de teto das galerias. Os sulfetos em baixa pressão ficam dentro dos

líquidos, mas com a turbulência na região dos degraus, eles se desprendem para o ar, causando as deteriorações.

O concreto em contato com águas contaminadas por esgotos sofre deterioração também por ataque de sulfatos. Todos os sulfatos são danosos ao concreto, reagindo com a pasta de cimento hidratado. Por causa do ataque dos íons sulfatos há formação de etringita e gesso, exercendo pressão no interior da pasta de cimento, desintegrando-a, causando fissuração e perda de resistência do concreto devido à perda de coesão entre a pasta de cimento e os agregados.

Muitas vezes os processos erosivos se somam, conforme mostrado na Figura 3.21, onde a deterioração do concreto da laje de fundo de uma galeria foi causada pela abrasão de partículas sólidas em suspensão e pelo ataque de sulfatos, uma vez que o fluxo é também contaminado por esgotos industriais.



**Figura 3.21-** Deterioração na laje de fundo devido à abrasão e ataque de sulfatos na galeria da Rua Américo Scott (BH)

### **3.2.3 – Manifestações patológicas casuais**

Conforme Aguiar e Baptista (2009), manifestações patológicas casuais são aquelas que não ocorrem pelo desgaste natural da passagem do fluxo de água, mas surgem em função de falhas construtivas localizadas ou por fatores externos, sendo consideradas, em geral, como falhas estruturais.

As manifestações patológicas casuais estão correlacionadas com o comportamento estrutural da galeria, tendo origem na deficiência de resistência dos materiais utilizados, falhas no projeto da obra, excesso de cargas sobre a estrutura, recalques nas fundações, acidentes, entre

outros. Como consequências destes problemas surgem fissuras, conforme mostrado na Figura 3.22, deformação excessiva da estrutura, mostrado na Figura 3.23, recalques diferenciados do solo de fundação, conforme Figura 3.24, entre outros problemas.



**Figura 3.22-** Fissuras com infiltrações na parede da galeria da Av. dos Austríacos, em Contagem (MG)



**Figura 3.23 –** Deformação da laje de piso devido à deficiência de projeto da galeria da Takono (BH)



**Figura 3.24-** Recalque de um dos módulos da galeria da Rua Alvarenga Peixoto (BH)

O acidente ocorrido na cidade de São Paulo em 22/12/2010, mostrado na Figura 1.1, teve como origem um recalque diferencial de um dos módulos da galeria.

### **3.2.4 – Assoreamentos**

Por definição o assoreamento é a obstrução, parcial ou total, de um rio, baía, lago ou canal, por causa do acúmulo de sedimentos, areias ou detritos.

No caso das galerias de águas pluviais urbanas o assoreamento é formado principalmente por areias, pedras, entulhos e lixos jogados à montante dos canais, que interferem no comportamento hidráulico da galeria, muitas vezes, de forma severa, conforme mostrado na figura 3.25. Erosões nos solos localizados próximos da montante das galerias também são geradores de assoreamentos.

A declividade do perfil das galerias influencia o surgimento dos assoreamentos. Nos canais com baixa declividade observa-se que a menor velocidade do fluxo propicia a sedimentação e acúmulo dos detritos, que normalmente não são vistos nas galerias com média e alta declividade. Os assoreamentos são mais observados em épocas de seca, quando o baixo volume de água dos fluxos, muitas vezes, é insuficiente para transportar os sedimentos, ocorrendo as obstruções no leito dos canais.

As altas vazões proporcionadas pelas chuvas, principalmente as fortes, são responsáveis por limpar o interior das galerias, removendo os assoreamentos para frente ou para fora dos canais.



**Figura 3.25-** Assoreamentos da galeria do Córrego Engenho Nogueira (BH)

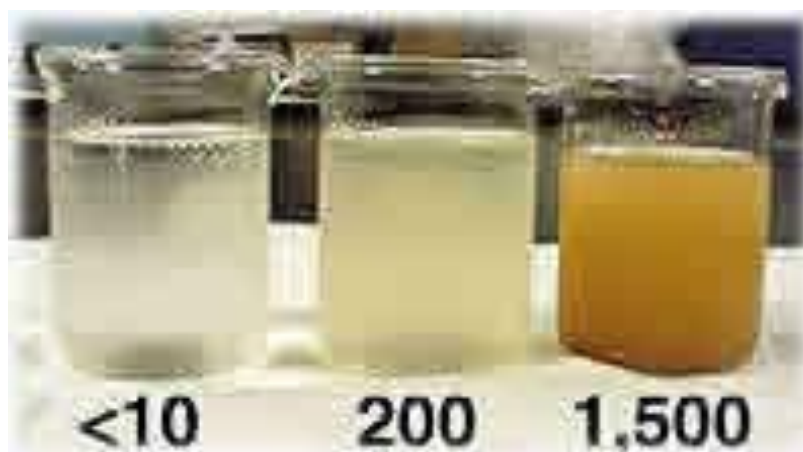
Uma das consequências da presença de sedimentos na água é a sua turbidez, que, por definição, é medida pela dificuldade de um feixe de luz atravessar certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma.

As principais causas da turbidez da água são a presença de matéria sólida em suspensão (silte, argila, sílica), matéria orgânica e inorgânica, organismos microscópicos e algas. A origem destes materiais pode ser o solo (quando não há mata ciliar), a mineração, a indústria, esgotos domésticos lançados no manancial sem tratamento. O exame microscópico e observações *in loco* podem ajudar a determinar as causas da turbidez.

Conforme site [www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm](http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm), os valores são expressos, normalmente, em Unidades Nefelométricas de Turbidez – UNT. O turbidímetro pode medir a turbidez em três escalas: nível 1 (0-20), nível 2 (0-200), nível 3 (0-1000) UNT's, conforme mostrado na Figura 3.26.

Segundo Colombo (s/data), esta medição é feita com o turbidímetro ou nefelômetro, que compara o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o de um feixe de

igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez.



**Figura 3.26:** Os tres níveis de turbidez da água medidas em UNT  
([www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm](http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm))

### **3.3 - Gestão Patrimonial da Drenagem Urbana**

O desenvolvimento de metodologias para a gestão patrimonial da infraestrutura dos serviços públicos reside na consolidação de práticas como a constituição e manutenção de um banco de dados, de forma a manter um patrimônio físico e antecipar as necessidades futuras.

Portanto, quanto maior o conhecimento, maior será a base para uma gestão patrimonial eficiente. Para isto é preciso ter métodos para aquisição e memória de informações relativas à idade dos elementos que compõem o patrimônio, o funcionamento dos sistemas de drenagem, os riscos e impactos da operação dos sistemas, modelos de envelhecimento dos condutos, planos de inspeção e manutenção, programas de reabilitação, entre outros (Stefani, 2005).

#### **3.3.1- Gestão patrimonial da drenagem urbana em curso em alguns países**

##### **Brasil**

No Brasil a gestão patrimonial da drenagem urbana ainda está em fase inicial, sendo feita dentro dos Planos Diretores de Drenagem que em estão sendo implantados em diversas cidades.

Segundo Stefani *et al.* (2005), um Plano Diretor de Drenagem Urbana tem o objetivo de criar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionados com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana das cidades. Este planejamento visa evitar perdas

econômicas, melhoria das condições de saúde e meio ambiente das cidades, tendo como metas programar a distribuição de água no tempo e no espaço, em função da ocupação urbana, compatibilizando o desenvolvimento e a infraestrutura, de forma a evitar prejuízos econômicos e ambientais.

Belo Horizonte foi precursora neste processo, segundo FINATEC (2007). Abrangeu os estudos dos sistemas de drenagem integrados com os diversos componentes da infraestrutura da cidade, tais como a erosão do solo, a poluição das águas, a ocupação das margens e das áreas de inundação dos cursos d'água, o planejamento urbano e a legislação de uso e ocupação do solo, a saúde coletiva e a estabilidade dos canais. Realizou, ainda, o cadastramento físico e qualitativo de todo o sistema de macro e micro drenagem, e implantou um Sistema de Informações Geográficas (SIG) aplicado à estrutura e à dinâmica da drenagem da cidade utilizando Geoprocessamento, que é a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica (VIRTUAL CAD, 1996). As metodologias empregadas e os resultados obtidos serão abordados posteriormente no trabalho.

O Plano Diretor de Drenagem (PDD-BH, 2001) elaborado pela Prefeitura de Belo Horizonte, através da SUDECAP, foi feito em duas etapas, sendo a primeira concluída em janeiro de 2001, após 16 meses de elaboração. Na primeira etapa realizou-se um completo levantamento cadastral de todos os elementos que integram o sistema de drenagem da cidade, abrangendo a micro e a macrodrenagem. A 2ª Etapa, iniciada após a conclusão da primeira, teve como componentes a implantação de uma rede hidrométrica para monitoração da relação chuva-vazão, modelagem hidrológica/hidráulica do sistema de drenagem existente, além de proposições de ações para o aperfeiçoamento do controle das inundações e da circulação das águas.

O levantamento da microdrenagem incluiu as redes tubulares, as caixas de captação, o estado de conservação destes elementos, as ocorrências de inundações e anomalias como assoreamento e poluição. Foram realizados levantamentos em 4.270 km de vias de 11.200 logradouros públicos, 11.500 poços de visita, 60 mil grelhas/caixas-coletoras (bocas-de-lobo), 1.100 pontos de lançamentos d'água em cursos d'água e 4.400 dispositivos diversos integrantes da infraestrutura de drenagem.

O levantamento da rede de macrodrenagem foi feito em fases distintas, iniciando-se pelos cursos d'água em leito natural e em seguida pelos canais revestidos. Foram cadastrados cerca

de 290 km de córregos e ribeirões nas duas bacias onde a cidade de Belo Horizonte está inserida, Arrudas e da Onça, abrangendo 140 km de canais revestidos fechados, 40 km revestidos abertos e 108 km em leitos naturais. Além disso, foram estudados os demais cursos d'água existentes para fins de caracterização quanto ao estado de salubridade das águas. Foram verificadas e registradas as características geométricas dos canais, as condições de estabilidade das estruturas e as condições sanitárias. O estudo atingiu uma área de 420 km<sup>2</sup>, sendo 77 % desse total situados no município de Belo Horizonte, 19 % em Contagem e 4% em Sabará (Champs e Perez, 2001).

Em Porto Alegre, o Plano Diretor foi denominado de Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental e se tornou lei no início de 2000 (PMPA, 2000). Este programa introduziu artigos relativos à drenagem urbana e especifica a necessidade de redução da vazão devido à urbanização para as áreas críticas através de retenção, e remete a regulamentação ao Departamento de Esgotos Pluviais. O detalhamento desta regulamentação está em curso, mas todos os projetos de novos empreendimentos (loteamentos) são obrigados atualmente a manter as vazões pré-existentes.

Os mesmos princípios foram recentemente empregados na concepção de Planos Diretores de Drenagem Urbana das cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Guarulhos, Curitiba e Caxias do Sul. Segundo Tucci (2002), estas legislações são resultados de várias ações realizadas no meio técnico nos últimos anos, como aumento significativo de artigos e publicações, palestras sobre a nova concepção em drenagem, a falta de sustentabilidade para continuar construindo canais atravessando as cidades, entre outras.

A ausência de informação dos profissionais, dos administradores públicos e até mesmo da população, quanto aos princípios compensatórios na Drenagem Urbana têm trazido grandes dificuldades, não só para o desenvolvimento das legislações associadas aos Planos Diretores de Drenagem Urbana, como também para a implementação e adequada manutenção das estruturas de controle distribuídas e na fonte.

Como a implantação dos Planos Diretores de Drenagem no Brasil está em fase inicial, ainda não foi possível, em geral, obter informações mais precisas referentes ao estado de conservação das redes de drenagem existentes e a necessidade de intervenções de manutenção preventiva e corretiva. Estes dados são fundamentais para uma gestão patrimonial, com indicadores de desempenho e critérios de decisão para uma programação de investigações,

ações de reabilitação, modelos de envelhecimento das redes, entre outros. Algumas destas informações já estão disponíveis em outros países, conforme apresentado a seguir.

### **França**

Na França foi elaborado um guia de metodologias para a gestão patrimonial das redes de saneamento e drenagem através de um projeto em nível nacional denominado RERAU “Réhabilitation des Réseaux d’ Assainissement Urbains” (2005) sob a coordenação de P. Le Gauffre, INSA de Lyon.

Este trabalho mostra que nas áreas metropolitanas da França existem 250.000 km de canalização de águas servidas, dos quais 10% possuem mais de 60 anos de construção, sendo o patrimônio avaliado em 75 bilhões de Euros.

Segundo o estudo, a França possui também 16.000 estações de tratamento, avaliadas em 14 bilhões de Euros. Para os trabalhos de reabilitação da rede de esgotos, considerando uma vida útil entre 60 a 80 anos, é necessário, por ano, um montante que varia entre 800 milhões a 1,3 bilhão de Euros.

### **Canadá**

Segundo RERAU (2005), em 1997 o Ministério de Negócios Municipais de Quebec realizou estudos de idade e envelhecimento das redes de esgotos, concluindo que era preciso agir rapidamente para evitar uma degradação generalizada da rede drenagem, pois o ritmo de envelhecimento era muito elevado. Pelos estudos feitos através de inspeções por vídeo, verificou-se que em 20 anos, sem reabilitação ou substituição, 49% da rede de esgotos estarão em péssimo estado de funcionamento, sendo necessária uma taxa de recomposição de 0,6% ao ano.

As principais informações contidas neste estudo, que envolveu 133 vilas da Província de Quebec, são:

- extensão da rede de esgotos: 36.500 km;
- condutos construídos antes de 1945 (mais de 50 anos): 12%;
- condutos construídos entre 1945 a 1960: 17%;
- condutos construídos entre 1961 a 1975: 32%;

- condutos construídos entre 1976 a 1996: 39%;
- nível de infiltração anormal: 33%;
- nível de infiltração intolerável: 4%;
- frequência de recalques: 47%;
- frequência de recalques intoleráveis: 2%;
- porcentagem média de redes de esgotos em má condição: 45%;
- porcentagem média de redes de esgotos em má condição em 2020, considerando um cenário de reposição de 0%: 49%;
- porcentagem média de redes de esgotos em má condição em 2020, considerando um cenário de reposição anual de 0,6%: 30%;
- porcentagem média de redes de esgotos em má condição em 2020, considerando um cenário de reposição anual de 1,0%: 14%;
- porcentagem média de redes de esgotos em má condição em 2020, considerando um cenário de reposição anual de 1,5 %: 5%;

As informações acima são interessantes e fundamentais para a implantação de um plano de gestão patrimonial, uma vez que apresenta, além da extensão da rede drenagem, o nível de deterioração e a necessidade de reposição anual em um cenário futuro, considerando três situações (0,6%, 1,0% e 1,5%).

### **Grã-Bretanha**

Segundo RERAU (2005), o Departamento de Serviços de Águas (OFWAT) da Inglaterra e do País de Gales, organismo responsável pelo controle da qualidade e de tarifas, a partir do Plano de Negócios Estratégicos, realizou um levantamento da rede de esgotos junto às empresas privadas, separando os trechos considerados críticos, dos não críticos. O estudo concluiu que 10 % dos trechos críticos estavam em mal, ou muito mal, estado de funcionamento (nível 4 e 5), e que 6% não apresentavam um nível de serviço aceitável.

As redes de esgotos foram classificadas em função do nível de deterioração, a saber:

- nível 1 - sem falhas estruturais;
- nível 2 - presença de fissuras, mas sem deformações;
- nível 3 - ligeiras deformações ( $\leq 5\%$ ), fissuras e juntas defeituosas;
- nível 4 – médias deformações ( $\leq 10\%$ ), perda de parte da estrutura, ligeira modificação do perfil;
- nível 5 – grandes deformações, maiores de 10%, perda de suporte da estrutura.

O patrimônio da Grã-Bretanha é constituído por 69.800 km de coletores considerados críticos, com um valor estimado em 43 bilhões de Libras, enquanto os coletores classificados como não críticos possuem 232.000 km de extensão, avaliados em um patrimônio de 61 bilhões de libras.

As informações acima servem de exemplo para países que estão em fase de implantação de planos de gestão patrimonial, como é o caso do Brasil, pois, além do patrimônio ser avaliado financeiramente, o estudo apresenta uma classificação dos diversos níveis de deterioração existentes, possibilitando um planejamento das intervenções de manutenção de curto, médio e longo prazo.

### **Alemanha**

Ainda segundo RERAU (2005), a Associação Alemã para a Água (ATV-DVWK) realizou em 1984/85 a primeira pesquisa referente ao estado de sua rede de saneamento e drenagem. Foram pesquisados 162 municípios, representando 27% da população da Alemanha. A rede de drenagem do país possui 445.000 km, sendo 226.000 redes unitárias, 134.000 redes de esgotos e 84.000 redes pluviais. A pesquisa mostrou que 70% da rede foram construídas nos últimos 50 anos, e que 5% têm mais de 100 anos, sendo que 80% da rede são inspecionadas regularmente, sendo a metade a cada 10 anos, e 25% em períodos inferiores há 10 anos.

As principais falhas encontradas foram: defeitos na ligação dos ramais (27%), fissuras (19%), falhas nas juntas (10%), raízes (7%), obstáculos (9%), desvio (10%), corrosão (7%), outros (11%).

O ATV-DVWK elaborou também uma escala de prioridade de intervenção com 5 classes, a saber:

- 0 = intervenção de urgência;
- 1 = intervenção de curto prazo;
- 2 = intervenção de médio prazo;
- 3 = intervenção de longo prazo;
- 4 = nada a ser feito.

Foram avaliados 75% da rede de saneamento e drenagem, sendo que 7% dos condutos foram classificados no nível 0 e 1, 10% classificados no nível 2, 14% no nível 3 e 69% no nível 4.

Em 2000, os trabalhos de reabilitação representaram um montante de 1,64 bilhões de Euros, sendo que os 17% da rede que necessitam de intervenção de curto e médio prazos (níveis 0, 1 e 2) precisam de um investimento da ordem de 45 bilhões de Euros.

Dos planos de gestão patrimonial mostrados, os referentes à Alemanha são dos mais completos, pois além dos investimentos financeiros necessários para a reabilitação das redes de drenagem. Apresentam também uma escala de prioridades para as intervenções e um plano de inspeção das redes, servindo de exemplo a ser seguido pela cidades ou estados que querem implantar gestões de patrimônio de forma eficiente.

### **3.3.2 - Construção de sistemas de indicadores**

Uma etapa importante dentro dos trabalhos de gestão patrimonial é a elaboração de um sistema de indicadores de desempenho para ser a base das tomadas de decisão, permitindo a identificação dos trechos prioritários para investigação e reabilitação.

O RERAU (2005) apresenta alguns indicadores de desempenho bastante interessantes, e se adaptados, poderão ser muito úteis como método de auxílio à decisão quando for necessário hierarquizar as ações de reabilitação.

O estudo divide os indicadores em três tipos: falhas, disfunções e impactos. As falhas caracterizam o estado físico das obras, enquanto as disfunções são as consequências das falhas, e os impactos são efeitos exercidos pelas disfunções. A partir dos indicadores de impactos são construídos os critérios de priorização das investigações e reabilitações.

As principais falhas, segundo RERAU, são: fissuras, desconexões, obstruções e rompimentos estruturais.

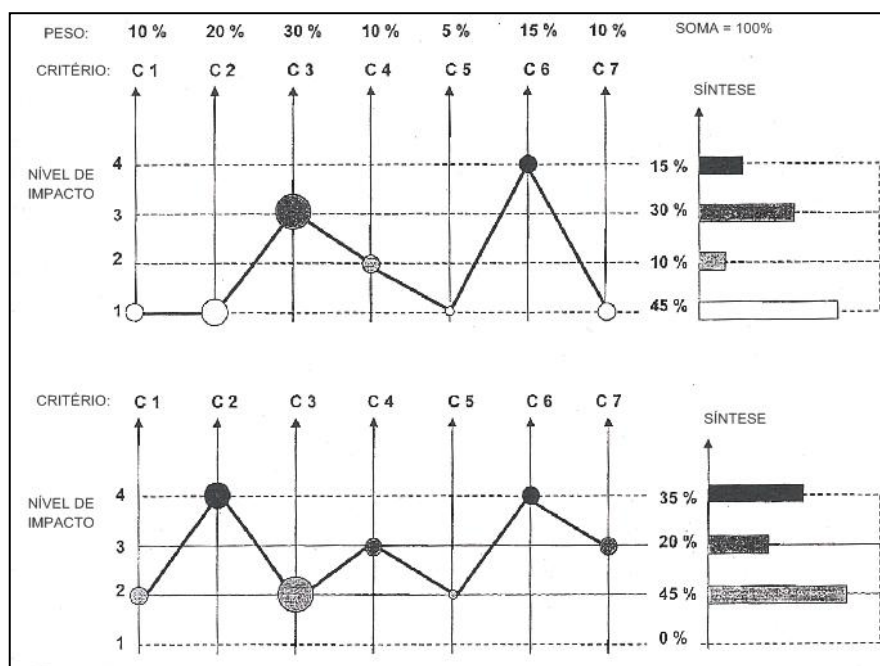
As disfunções mais relevantes são: infiltração, vazamentos, redução da capacidade hidráulica, inundação, instabilidade do complexo solo/estrutura, ataque químico, degradação pela penetração de raízes, degradação por abrasão, alteração da integridade estrutural, riscos de colapso estrutural.

Os impactos mais importantes são: poluição das águas de superfície ou subterrâneas, poluição dos solos, interrupção dos serviços, odor, inundação nas vias públicas, prejuízo e danos diversos, redução da durabilidade da vida útil das obras, construções, estações de tratamento, custos para as intervenções de reparos, etc.

Para priorizar as investigações e reabilitações o RERAU (2005) desenvolveu quatro níveis de impactos, a saber:

- nível 4 – Impacto grande
- nível 3 – Impacto relevante
- nível 2 – Impacto moderado
- nível 1 – Impacto fraco ou nulo

Para exemplificar o uso dos indicadores de desempenho, apresenta-se um exemplo sintético, utilizando os gráficos na Figura 3.27, referente a dois determinados trechos hipotéticos, para serem comparados. Para os dois trechos foram selecionadas 7 disfunções (C1 a C7), com pesos que totalizam 100%, e enquadradas em 4 níveis de impactos (1 a 4).



**Figura 3.27**– Exemplo de dois trechos hipotéticos, para serem comparados entre si, utilizando 7 disfunções com seus respectivos pesos (Adaptado de RERAU, 2005)

Para o primeiro trecho, gráfico superior da Figura 3.27, observa-se que:

- disfunções com nível de impacto 1: 45% (C1, C2, C5 e C7).
- disfunções com nível de impacto 2: 10% (C4)
- disfunções com nível de impacto 3: 30% (C3)
- disfunções com nível de impacto 4: 15% (C6)

Para o segundo trecho, gráfico inferior da Figura 3.27, verifica-se que:

- disfunções com nível de impacto 1: 0%
- disfunções com nível de impacto 2 : 45% (C1, C3 e C5)
- disfunções com nível de impacto 3 : 20% (C4 e C7)
- disfunções com nível de impacto 4 : 35% (C2 e C6)

A comparação entre os dois trechos para hierarquizar as intervenções de reabilitação vai depender do critério de decisão a ser tomado. Se o critério de priorizar as intervenções for baseado nas disfunções com nível de impacto 4 (impacto grande), o segundo trecho deverá ser o priorizado, pois a soma de peso é de 35%, contra 15% do primeiro trecho.

Mas se o critério selecionado pelos gestores do programa for a soma das disfunções com nível de impacto 3 e 4 (impacto relevante e grande), o segundo trecho também será o priorizado, por que a soma dos pesos é de 55%, contra 45% do primeiro trecho.

Nas duas situações, pelos critérios adotados, o segundo trecho receberia a prioridade para receber as intervenções de reabilitação.

Entende-se que o sistema apresentado pelo RERAU (2005) é interessante e muito prático, podendo ser adotado com ajustes, principalmente quanto ao critério utilizado para os pesos.

### **3.3.3 – Sistemas de auxílio à decisão**

Qualquer tomada de decisão está fortemente relacionada com a comparação de diferentes pontos de vista, alguns a favor, outros contra uma determinada decisão. Portanto, a decisão está intrinsecamente relacionada com uma pluralidade de pontos de vista, definidos como critérios (Figueira *et al.*, 2005).

Constata-se o desenvolvimento de um grande número de refinados métodos de auxílio à decisão por múltiplos critérios MCDA (*Multiple Criteria Decision Aid*) ou MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*). Os métodos de MCDA são aplicados em situações em que se necessita da análise de múltiplos (dois ou mais) critérios, ou múltiplos atributos. Entretanto, nenhum destes métodos pode ser considerado como o melhor em qualquer tipo de situação, uma vez que cada método possui vantagens e desvantagens específicas.

O MCDA é utilizado na classificação (*ranking*) de soluções alternativas de problemas em uma enorme variedade de campos de aplicação. O desenvolvimento dos métodos se deu a partir de trabalhos de autores diferentes, em diversos países. Salomon (2004) classifica os métodos de MCDA em três “escolas” de abordagens: Escola Americana, com métodos baseados na função de utilidade; Escola Francesa ou Escola Europeia, com métodos de subordinação e síntese; Programação Matemática de Múltiplos Objetivos, com métodos interativos.

As aplicações de diferentes métodos de MCDA utilizam, basicamente, a mesma ferramenta: a matriz de decisão. As diversas metodologias também seguem os mesmos três passos principais para o auxílio à decisão: estabelecimento de critérios e alternativas, atribuição de pesos e síntese dos resultados.

A grande distinção entre um método e outro se dá na maneira como estes passos são executados. Assim, aplicações de métodos diferentes de MCDA, em um mesmo problema decisório, podem gerar resultados diferentes entre si (Guglielmetti *et al.*, 2003). Outro aspecto da aplicação de métodos distintos de MCDA se relaciona com o esforço necessário para o auxílio à decisão. Ou seja, a aplicação de um método pode requerer uma menor quantidade de dados que a aplicação de outro método, para o mesmo problema decisório.

Importante ressaltar que os métodos de auxílio à decisão não dão a resposta certa para o caminho que o tomador de decisão deve seguir, mas indica uma solução para um cenário montado pelo próprio tomador de decisão (Besteiro *et al.*, 2009).

Segundo Guglielmetti *et al.* (2003) e Salomon (2004), os métodos clássicos de MCDA são o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) proposto por Saaty em 1977, o ELECTRE (*Élimination Et Choix Traduisant la Réalité*) desenvolvido a partir de Roy em 1968, o MAHP (*Multiplicative AHP*) proposto por Lootsma em 1993 e o MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) apresentado por Bana e Costa & Vansnick em 1994.

Segundo Guglielmetti *et al.* (2003), os métodos citados diferem entre si através da maneira pela qual os múltiplos critérios são operacionalizados. Em cada método existem diferentes propriedades com respeito ao modo pelo qual os critérios são julgados, a obtenção de pesos (importância, preferência ou possibilidade) dos critérios ou alternativas e o tratamento dos pesos para obtenção do desempenho (prioridade) global das alternativas.

Entre os métodos mais utilizados no Brasil estão o AHP, MACBETH e os métodos da família ELECTRE, sendo que o AHP está tendo cada vez mais a sua utilização ampliada, principalmente no que diz respeito à execução de aplicações práticas, levando os tomadores de decisão e pesquisadores a preferir esta metodologia. Isto é percebido no elevado número de publicações de artigos sobre o AHP, que é muito superior a qualquer outro método de MCDA (Guglielmetti *et al.*, 2003).

Outra metodologia muito utilizada é a TOPSIS (*Technique For Order Performance by Similarity to Ideal Solution*, criada por Hwang e Yoon (1981), que consiste em uma técnica de avaliação do desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal. A escolha do TOPSIS se justifica pelo fato de apresentar facilidade de aplicação dado a sua

simplicidade conceitual, o modo como aborda um problema de decisão comparando duas situações hipotéticas - ideal e indesejável, além de responder rapidamente a mudanças de variáveis durante o processo de análise e não exigir recursos sofisticados de processamento de dados (Salomon, 2004). A Programação de Compromisso (*Compromise Programming*), desenvolvida por Zeleny (1973) também é muito utilizada, sendo uma técnica que busca a otimização da função “distância da solução ideal”.

As metodologias citadas requerem a utilização de *software* comercial, envolvendo custos de aquisição, treinamentos, compras de *hardware*, etc. Como regra geral, os usuários de métodos de MCDA acabam usando um ou outro método por ter mais afinidade com este. Assim, ao se deparar com um problema que não se adapta ao método de seu conhecimento, o tomador da decisão pode acabar adaptando seu problema ao método, gerando imprecisões nos resultados. O que se deve ter em mente é que tais métodos servem para auxiliar a estruturação e a composição de uma decisão, e não para induzir o tomador da decisão.

Segundo Guglielmetti *et al.*(2003), como alguns destes métodos apresentam complicados modelos matemáticos, muitas pessoas e empresas deixam de lado estas metodologias para continuar com a utilização de métodos tradicionais de decisão, baseados somente na experiência e sentimento do tomador de decisão, não utilizando os métodos MCDA, deixando de aproveitar o desenvolvimento da computação, onde a interface tomador de decisão *versus* método foi notavelmente aprimorada.

É possível utilizar métodos mais simples para auxílio à decisão em casos de menor complexidade, sem a necessidade de aquisição de *software* comercial, mas evitando que a tomada de decisão seja baseada somente na experiência e no sentimento dos analistas. Neste contexto poderá ser utilizado o método de ponderação através da soma ponderada.

Após a elaboração de uma matriz de avaliação, a soma ponderada consiste em atribuir pesos para cada critério e em seguida, para cada ação, realizar um somatório do produto do peso pela avaliação do critério. O somatório obtido é dividido pela soma dos pesos atribuídos. A melhor opção entre as ações analisadas será aquela que apresentar o maior ou menor valor, de acordo com a notação utilizada. O método da soma ponderada busca a sintetização de vários critérios em um critério único, garantindo um ordenamento das ações (Brito 2005).

### 3.4 – Exigências quanto à durabilidade das estruturas de concreto

Cada país possui suas próprias diretrizes voltadas à obtenção de durabilidade das estruturas de concreto, principalmente aquelas que ficam em contato direto com águas e seus contaminantes, particularmente os sulfatos.

Como exemplo cita-se o “Building Code Requirements For Structural Concrete” (ACI 318-02) e “British Standard 7973”, onde todas as recomendações para proteger as armaduras do concreto armado contra os ambientes mais agressivos estão relacionadas com uma adequada espessura da camada de cobrimento das barras de aço e uma baixa relação água/cimento para conferir impermeabilidade ao concreto. Em geral, a diretriz para a espessura da camada de cobrimento das armaduras é em torno de 5 centímetros, a relação água/cimento varia entre 0,40 a 0,50 e a resistência é em torno de 30 MPa.

No Brasil as diretrizes seguem as mesmas tendências das americanas e europeias, sendo fornecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 6118/2007 – “Projetos de Estruturas de Concreto- Procedimentos”, que apresenta as exigências a serem seguidas para elaboração de projetos de estruturas de concreto simples, armado e protendido.

A referida Norma faz algumas exigências para a durabilidade das estruturas de concreto, que *“devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”*.

Como a agressividade do meio ambiente está diretamente relacionada com as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, a NBR 6118/2007 apresenta em sua Tabela 6.1 quatro classes de agressividade ambiental, conforme transcrito na Figura 3.28.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito Forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

**Figura 3.28** : Classes de Agressividade Ambiental (NBR 6118/2007)

O responsável pelo projeto estrutural, de posse de dados relativos ao ambiente em que será construída a estrutura, deve enquadrá-la em uma das quatro classes de agressividades apresentadas na Figura 3.28, uma vez que as exigências para cada projeto estão correlacionadas com a classe de agressividade ambiental. Assim, quanto mais agressivo for o ambiente de exposição da estrutura, maiores serão as exigências de projeto quanto à resistência do concreto, relação água/cimento e cobrimento das armaduras.

A NBR 6118/2007 apresenta mais duas tabelas, diretamente relacionadas com as classes de agressividade ambiental. A Tabela 7.1 mostra as exigências quanto à resistência do concreto e a relação água/cimento, enquanto a Tabela 7.2 apresenta as exigências da Norma quanto ao cobrimento das armaduras. Estas duas tabelas foram transcritas na íntegra e exibidas nas figuras 3.29 e 3.30.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
NOTAS 1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 12655. 2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. 3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

**Figura 3.29:** Correspondência entre classes de agressividade e qualidade do concreto (NBR 6118/2007)

Chama-se a atenção para a Nota nº 3 da Figura 3.28, quando a Norma indica que as estruturas expostas aos ambientes quimicamente agressivos devem ser enquadradas na Classe IV (agressividade muito forte, elevado risco de deterioração), sem definir claramente qual o nível de agressividade química, se fraca ou forte. Em geral, como constatado ao longo deste trabalho, os fluxos das galerias de águas pluviais urbanas estão sujeitas à contaminação química por esgotos residenciais e efluentes industriais. Em função disto entende-se que a Norma impõe que estas estruturas sejam classificadas na Classe IV.

No caso de estruturas especiais, como as obras hidráulicas, a NBR 6118-2007 recomenda que as exigências sejam complementadas e eventualmente ajustadas em pontos localizados por Normas Brasileiras específicas. Entre estas se encontram a ABNT 15645/2009 – “Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando tubos e aduelas de concreto”, e a ABNT 15396 – “Aduelas (galerias celulares) de concreto pré-fabricado – requisitos e métodos de ensaios”. Em relação à segunda Norma (ABNT 15396), chama-se a atenção para que as aduelas das galerias celulares só sejam utilizadas quando os fluxos de água não estiverem contaminados com esgotos sanitários ou industriais, uma vez que as exigências quanto à qualidade do concreto referem-se à Classe de Agressividade II, portanto, em geral, não são indicadas para as áreas urbanas, mas para as áreas rurais.

Tipo da estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga / Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>(1)</sup>	Todos	30	35	45	55

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

2) Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contra piso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelo item 7.4.7.5 desta norma, respeitando um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

**Figura 3.30:** Correspondência entre classes de agressividade ambiental e cobrimento nominal (NBR 6118/ 2007)

Normalmente as exigências complementares são apresentadas em um documento denominado de “Caderno de Encargos”, elaborado pelas empresas e órgãos contratantes dos projetos.

Analisou-se o Caderno de Encargos da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (SUDECAP, 2011), tomando-o como referência nacional, por entender que a administração municipal deste município está na vanguarda da matéria, em função dos trabalhos já realizados e por ter sido a pioneira no Brasil na implantação de um Plano Diretor de Drenagem.

Dentre as diversas recomendações contidas neste documento destacam-se os “Parâmetros e Diretrizes” onde estão descritos os critérios para cálculo das variáveis hidráulicas do escoamento, como o regime de escoamento, o perfil e a altura da lâmina de água, velocidade e número de Froude, o coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning, velocidade média do escoamento, entre outros. Quanto às declividades mínimas e máximas o referido documento exige que elas devem estar limitadas pelos valores de altura máxima da lâmina d’água e velocidade máxima permitida respectivamente.

Em relação às exigências do projeto para com a qualidade do concreto a ser utilizado nas obras, o Caderno de Encargos sempre referencia à NBR 6118, fazendo somente uma ressalva no item referente ao cobrimento das armaduras “*que deve ser 3,0 cm, exceto na laje de fundo que deverá ser de 5,0 cm*”.

### **3.5 – Comentários Finais**

Cabe-se ressaltar que a maior dificuldade enfrentada na realização da revisão da literatura nacional e internacional foi a falta de artigos técnicos referentes às galerias de águas pluviais, principalmente nas áreas urbanas, tanto no que concerne à presença das manifestações patológicas, quanto aos planos de gestão patrimonial.

## **4- LEVANTAMENTO DE DADOS**

### ***4.1- O sistema de macrodrenagem de Belo Horizonte***

A fonte principal dos dados para este trabalho de pesquisa é o sistema de galerias de águas pluviais de Belo Horizonte, utilizando para isto as informações obtidas junto ao Plano Diretor de Drenagem da cidade (PDD-BH, 2001), realizado entre 1999 a 2001, através da SUDECAP, que é a autarquia responsável pela implantação e manutenção das obras de infraestrutura da cidade, que propôs a criação e a implantação de um instrumento de planejamento para o sistema de drenagem pluvial da cidade, que possui uma superfície de aproximadamente 350 km<sup>2</sup>.

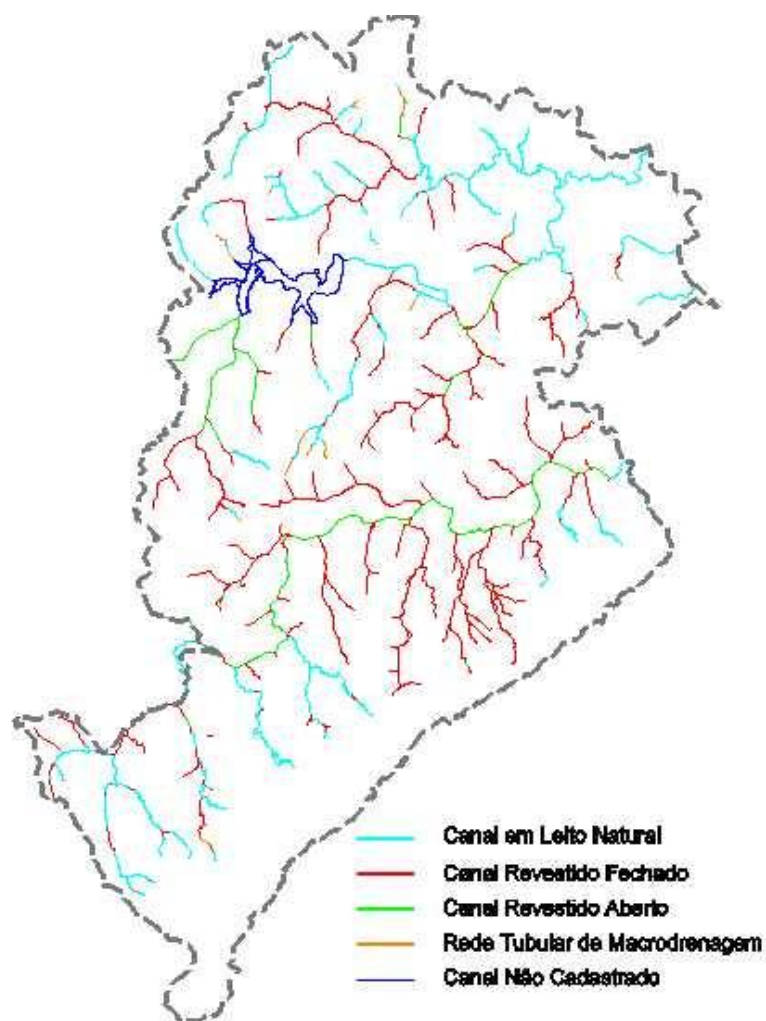
Naquela oportunidade foram inspecionadas 74 galerias de águas pluviais da Bacia do Ribeirão Arrudas e 52 galerias da Bacia do Ribeirão da Onça, totalizando aproximadamente 120 km de canalizações.

Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos em uma das etapas do PDD-BH, aquela que correspondeu aos levantamentos geométricos dos sistemas existentes de macrodrenagem, os cadastramentos das manifestações patológicas verificadas no interior das estruturas e dos diagnósticos estruturais das galerias, acompanhados das ações necessárias para sua recuperação.

A expansão urbana de Belo Horizonte adotou um modelo de ocupação sobre as avenidas sanitárias, implantando as vias principais sobre os vales, com os cursos de água sendo gradativamente canalizados.

Atualmente a rede hidrográfica natural da cidade é constituída por cerca de 330 km de cursos de águas perenes, sendo que estão canalizados aproximadamente 200 km, entre canais revestidos abertos, canais revestidos fechados e rede tubular, situados nas bacias hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e da Onça, tributários diretos do Rio das Velhas, integrante da Bacia Hidrográfica de São Francisco.

A Figura 4.1 apresenta um desenho sintético da rede de drenagem do município de Belo Horizonte, com a planta de localização dos canais revestidos abertos e fechados, a rede tubular de macrodrenagem e os canais em leito natural.



**Figura 4. 1** - Rede da macrodrenagem de Belo Horizonte (PDD-BH, 2001)

#### ***4.2- Um pouco da história de Belo Horizonte e suas redes de drenagem***

Segundo Barreto (1947), a história de Belo Horizonte começa no dia 17 de Dezembro de 1893 com a promulgação da lei nº 3 da Constituição Estadual, que determinou que a nova sede do Governo do Estado de Minas Gerais deixaria de ser Vila Rica, hoje Ouro Preto, para ser transferida para uma nova capital a ser construída em quatro anos.

Após várias avaliações técnicas e contestações políticas, o local escolhido foi o povoado de Curral Del Rey, na época com uma população de 2.600 pessoas (Fundação João Pinheiro, 1997). Na mesma lei foi criada a Comissão Construtora, chefiada por Aarão Reis, que trazia consigo alguns nomes de referência nacional da época, em arquitetura e engenharia, para dar início à construção da nova cidade. Em 1895 o projeto ficou pronto e lembrava o modelo das mais modernas cidades do mundo: Paris e Washington (Jornal O Estado de Minas, 1996).

A Figura 4.2 mostra como era Belo Horizonte, no início de sua história. Depois de desapropriar e demolir todo o arraial, o engenheiro Aarão Reis construiu ali a primeira cidade projetada do Brasil, que inicialmente recebeu o nome de Cidade de Minas, até que em 1901, quatro anos após sua inauguração, passou a ser denominada Belo Horizonte.



**Figura 4. 2** - Vista da Praça da Matriz, centro do arraial, em 1894  
(Acervo do Arquivo Público Mineiro)

A nova capital do Estado de Minas Gerais foi projetada para uma população de 30.000 habitantes, mas com uma expectativa de crescimento natural para atingir 200.000 habitantes, bem inferior aos 2.375.000 pessoas da atualidade, segundo o censo de 2010 realizado pelo IBGE. Localizada na Bacia do Rio São Francisco, Belo Horizonte não é banhada por nenhum grande rio, mas por seu solo passam ribeirões e vários córregos. Em sua área territorial existem duas sub-bacias, do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça, ambos afluentes do Rio das Velhas, que é o maior curso de água perto da cidade. As duas sub-bacias estão situadas na região do Alto Rio das Velhas. A Figura 4.3 mostra a situação de um dos principais córregos da cidade nas primeiras décadas da nova capital.

O processo de urbanização do município procurou esconder os cursos d'água. Segundo Champs e Perez (2001), os primeiros sistemas sanitários e de drenagem foram implantados com base nos princípios higienistas, também predominantes naquela época. Assim, o método de escoamento prevalente foi o da evacuação rápida das águas reunidas em sistemas unitários. Nessa época foram construídos os primeiros canais e retificados os primeiros cursos d'água.

A canalização dos córregos e ribeirões tornou-se uma prática usual a partir da década de 60, sendo incrementada na década de 70, seguindo sempre a mesma tendência. Inicialmente os córregos serviam de drenagem dos esgotos e resíduos industriais, o que provocava sua morte biológica, passando a ser foco de doenças, sendo então canalizados, transformando-se em importantes ruas e avenidas sanitárias da cidade, conforme mostrado na Figura 4.4.



**Figura 4. 3** - Córrego do Leitão, na Rua Padre Belchior, em 1929  
(Acervo do Arquivo Público Mineiro)



**Figura 4. 4** - Canalização do Córrego do Leitão, na Rua Padre Belchior, década de 1960.  
(Acervo do Arquivo Público Mineiro)

Segundo Champs e Perez (2001), a SUDECAP propôs em 1.979 um plano de intervenções nos cursos d'água para um prazo de 10 anos, denominado Plano de Urbanização e Saneamento Básico de Belo Horizonte (PLANURBS), quando foi recomendado como única alternativa o revestimento em concreto dos córregos e ribeirões localizados nas áreas já urbanizadas ou destinadas à expansão urbana, totalizando 305 km de extensão. Assim a Prefeitura Municipal, nas três décadas seguintes, executou um intenso programa de obras de canalizações. Considerando todos os canais implantados no Município de Belo Horizonte, estima-se que os investimentos financeiros superaram a cifra de US\$ 1 bilhão.

#### ***4.3- Pesquisa histórica das galerias de Belo Horizonte***

Quando da elaboração dos diagnósticos estruturais das galerias de águas pluviais para o Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte para identificar as prováveis causas para o surgimento das manifestações patológicas, constatou-se a inexistência, quase que absoluta, de informações referentes ao histórico da construção das galerias, como o ano de execução das obras, os materiais utilizados, as espessuras das paredes e lajes, entre outras. Como estas informações eram importantes para o trabalho, recorria-se quase sempre às “memórias vivas” ainda em atividade na SUDECAP, na tentativa de se obter, através de depoimentos e lembranças, algum dado complementar.

Quando se decidiu que as inspeções das galerias de águas pluviais de Belo Horizonte seriam a principal fonte de informações desta tese de doutorado, foi preciso, como primeiro passo, incentivar a execução de um levantamento histórico referente à construção destas galerias. Para isto foram contatados os engenheiros mais velhos da SUDECAP, as citadas “memórias vivas”, para que todos aqueles depoimentos e lembranças, fornecidos anteriormente, fossem devidamente registrados e arquivados naquele órgão municipal.

Coube ao Eng. Waldir Teixeira, um dos mais respeitados e competentes engenheiros daquele órgão, a missão de pesquisar e coletar as informações junto aos demais colegas, e após quase um ano de persistente trabalho, foi gerado um quadro com os dados históricos abrangendo praticamente todas as galerias construídas entre os anos de 1966 a 2008.

A pesquisa histórica foi uma contribuição muito importante para as futuras gerações que se interessam pelo comportamento das galerias de concreto que compõem a macrodrenagem da cidade, uma vez que são obras enterradas, até então sem registro das informações históricas e,

se esta pesquisa não fosse feita nesta época, junto aos engenheiros ainda em atividade, mas já em fase de aposentadoria, talvez, dificilmente pudesse ser feita no futuro.

Todas as informações históricas estão à disposição dos interessados no Setor de Arquivo da SUDECAP, sendo constituídas pelas seguintes dados: nome da via, nome do córrego, bairro, ano de construção, nome da construtora, nome da consultoria, nome do engenheiro supervisor do órgão, espessura do teto, piso e paredes, resistência do concreto, existência ou não de projetos e fotos.

A seguir são apresentadas as principais informações obtidas na pesquisa histórica. A Tabela 4.1 apresenta a relação das galerias construídas pela extinta Secretaria Municipal de Comunicação e Obras, órgão que antecedeu a SUDECAP.

A Tabela 4.2, subdividida em quatro partes, apresenta a relação das galerias de águas pluviais de Belo Horizonte construídas no período entre 1970 a 2008 pela SUDECAP, mostrando também o nome da via e do córrego, o ano de construção da obra, a resistência do concreto em MPa e as dimensões da paredes, teto e piso em centímetros. Pelas tabelas verifica-se que algumas galerias foram feitas em etapas e anos diferentes. Os tipos de cimentos utilizados nas obras foram: até o ano de 1970: CP-32; de 1970 a 1980: AF-320; a partir de 1980: ARI-RS.

**Tabela 4.1**– Relação das galerias feitas pela extinta SMCO

<b>SMCO - GALERIAS PLUVIAIS DE BELO HORIZONTE</b>		
<b>VIA</b>	<b>CÓRREGO</b>	<b>ANO</b>
Av. Uruguai	Acaba Mundo	1966
Av. N.S. do Carmo	Acaba Mundo	1966
R. Prof. Moraes	Acaba Mundo	1966
R. Odilon Braga	Afluentes C. Gentil	1966
Av. Francisco Deslandes	Gentil	1966
R. Antonio Albuquerque	Zoologico	1966
R. Rio de Janeiro	Zoologico	1966
R. Alvarenga Peixoto	Zoologico	1966
Av. Afonso Pena	Acaba Mundo	1967
Av. Antonio Cador	Leitão	1967
Rua Alagoas	Boa Viagem	1972
Av. Magalhães Penido	Engenho	1976
Av. Ivaí	Sem Nome	1976
Av. Alfredo C.	Mergulhão	1977
R. Pium I	Gentil	1966
R. Outono	Gentil	1966
Navegantes	Navegantes	1980

**Tabela 4.2.a – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP (1/4)**

<b>GALERIAS PLUVIAIS DE BELO HORIZONTE - 1970 - 2008</b>						
<b>VIA</b>	<b>CÓRREGO</b>	<b>ANO</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>TETO</b>	<b>PISO</b>	<b>PAREDE</b>
Arturo Toscanini	Zoologico	1970	15MPa	12	12	12
Av. Francisco Sá	Pintos	1970	15MPa	12	12	12
Av. Prudente de Moraes	Leitão	1970	15MPa	15	15	15
R. Felipe dos Santos	Indefinido	1971	15MPa	15	15	15
Av. Francisco Sá	Pintos	1971	15MPa	12	12	12
R. Americo Werneck	Mangabeiras	1971	15MPa	12	12	12
R. Dona Senhorinha	Serra	1971	15MPa	12	12	12
R. Americo Scott	Serra	1971	15MPa	12	12	12
R. Cicero Ferreira	Serra	1971	15MPa	12	12	12
Contorno/Aimorés	Serra	1971	15MPa	15	15	15
R. Piauí	Serra	1971	15MPa	15	15	15
Av. Brasil / R. Maranhão	Serra	1972	15MPa	15	15	15
R. Levy Coelho	Serra	1973	15MPa	15	15	15
Av. Prudente de Moraes	Leitão	1970	15MPa	15	15	15
Rua Marília de Dirceu	Leitão	1971	15MPa	15	15	15
R. São Paulo	Leitão	1971	15MPa	15	15	15
R. Padre. Belchior	Leitão	1971	15MPa	15	15	15
R. Tupis	Leitão	1971	15MPa	15	15	15
R. Mato Grosso	Leitão	1971	15MPa	15	15	15
Av. Guaicui	Indefinido	1971	15MPa	12	12	12
R. Joaquim Murinho	Indefinido	1971	15MPa	12	12	12
R. Agulhas Negras	Mangabeiras	1972	15MPa	12	12	12
R. Mata da Corda	Mangabeiras	1972	15MPa	12	12	12
Av. Bernardo Vasconcelos	Cachoeirinha	1972	15MPa	20	20	20
Av. Bernardo Vasconcelos	Cachoeirinha	1973	15MPa	20	20	20
Av. Cristiano Machado	Cachoeirinha	1990	15MPa	30	30	30
Minas Shopping	Cachoeirinha	1995	15MPa	30	30	30
Av. Mexiana	Indefinido	1972	15MPa	12	12	12
Parque Municipal	R. Alagoas	1976	15MPa	12	12	12
Av. Conceição do Pará	Bretinho	1976	15MPa	15	15	15
Av. Conceição do Pará	Bretinho	1975	15MPa	15	15	15
Av. Fleming	Tijuco	1972	15MPa	15	15	15
Av. Uruguai	Acaba Mundo	1972	15MPa	12	12	12
R. Tomé de Souza	Acaba Mundo	1973	15MPa	15	15	15
R. R. Grande do Norte	Acaba Mundo	1973	15MPa	15	15	15
Av. Bernardo Monteiro	Acaba Mundo	1976	15MPa	15	15	15
Av. Brasil	Acaba Mundo	1977	15MPa	15	15	15
Av. D. Pedro II	Pastinho	1973	15MPa	15	15	15
Av. D. Pedro II	Pastinho	1976	15MPa	15	15	15
Av. D. Pedro II	Pastinho	1981	15MPa	15	15	15
Av. D. Pedro II	Pastinho	1978	15MPa	15	15	15
Entre Lotes	Barreiro	1978	15MPa	15	15	15
Av. João Paulo II	São José	1976	15MPa	-	15	15

**Tabela 4.2.b** – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP (2/4)

<b>GALERIAS PLUVIAIS DE BELO HORIZONTE - 1970 - 2008</b>						
<b>VIA</b>	<b>CÓRREGO</b>	<b>ANO</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>TETO</b>	<b>PISO</b>	<b>PAREDE</b>
R. Artur Guimarães	Pedra Preta	1975	15MPa	15	15	15
Av. Renascença	Renascença	1976	15MPa	15	15	15
Av. Silva Lobo	Piteiras	1976	15MPa	15	15	15
Indefinido	Bairro da Graça	1976	15MPa	12	12	12
Av. Francisco Deslandes	Indefinido	1976	15MPa	15	15	15
Av. Delta	Da Pedreira	1976	15MPa	15	15	15
Av. Petit	Petit	1976	15MPa	15	15	15
Av. Cachoeirinha	Vila da APAE	1976	15MPa	15	15	15
Av. Paru	Vila Concordia	1976	15MPa	15	15	15
Av. Paru	Vila Concordia	1979	15MPa	15	15	15
R. Cornélio Cequeira	Indefinido	1976	15Pa	15	15	15
Av. Alvaro da Silveira	Talobas	1976	15MPa	15	15	15
Av. Alvaro da Silveira	Talobas	1978	15MPa	15	15	15
Av. Alvaro da Silveira	Talobas	1981	15MPa	15	15	15
Av. João Paulo II	São José	1976	15MPa	15	15	15
Av. Itaituba	Taboa	1976	15MPa	15	15	15
R. Estevão Pinto	Serra	1977	15MPa	15	15	15
R. Itapetinga	Aeroporto	1978	15MPa	12	12	12
R. Estoril	Vilas S. Francisco	1978	15MPa	15	15	15
R. C. Joaquim Caetano	Indefinido	1978	15MPa	15	15	15
Av. Barão H. de Melo	Da Pedreira	1779	15MPa	15	15	15
Av. Barão H. de Melo	Da Pedreira	1982	15MPa	15	15	15
Av. Petrolina	Petrolina	1980	15MPa	15	15	15
Av. Américo Vespúcio	Cachoeirinha	1980	15MPa	15	15	15
Av. Pinheiros	Pinheiros	1980	15MPa	15	15	15
R. Alvaro Mata	Afluente	1980	15MPa	15	15	15
Av. dos Esportes	Av. dos Esportes	1980	15MPa	15	15	15
Indefinido	Sto Antonio	1980	15MPa	12	12	12
Av. Andradas	Rib. Arrudas	1980	25MPa	-	45	45
Av. Andradas	Rib. Arrudas	1982	25MPa	-	45	45
Av. Andradas	Rib. Arrudas	1983	25MPa	-	45	45
Av. Tereza Cristina	Do Jatobá	1983	25MPa	-	45	45
Av. Tereza Cristina	Do Jatobá	1986	25MPa	-	45	45
Av. Tereza Cristina	Do Jatobá	1994	25MPa	-	40	40
Av. Belém	Da Baleia	1982	15MPa	15	15	15
R. Dr. Álvaro Camargos	Borges	1982	15MPa	15	15	15
R. Dr. Álvaro Camargos	Borges	1984	15MPa	15	15	15
R. Dr. Álvaro Camargos	Borges	1986	15MPa	15	15	15
Entre Lotes	Nado	1982	15MPa	15	15	15
Av. Caravelas	Indefinido	1982	15MPa	15	15	15
R. Candas	Candas	1989	15MPa	12	12	12
Cabana Pai Tomaz	Cabana	1989	15MPa	15	15	15
Lagoa Formosa	Indefinido	1989	15MPa	15	15	15
Rua Tupã	Embaubas	1989	15MPa	15	15	15
Rua Curi	Sem Nome	1989	15MPa	15	15	15
Carmelita Toledo	Indefinido	1989		15	15	15

**Tabela 4.2.c – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP (3/4)**

<b>GALERIAS PLUVIAIS DE BELO HORIZONTE - 1970 - 2008</b>						
<b>VIA</b>	<b>CÓRREGO</b>	<b>ANO</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>TETO</b>	<b>PISO</b>	<b>PAREDE</b>
Av. C. Machado	Pampulha	1989	15MPa	-	20	20
Via 240 / R. Dr. B. Xavier	Onça	1989	15MPa	30	30	30
Via 240 / R. Dr. B. Xavier	Onça	2001	20MPa	-	30	30
Rua Estoril	São Francisco	1985	15MPa	12	12	12
R. Antonio Eustaquio P.	Do Túnel	1985	15MPa	15	15	15
Av. Atlantida	Da Ressaca	1985	-	Gabiões		
R. Sto Antonio Paria	Indefinido	1985	15MPa	15	15	15
Av. Ceramica	Cerâmica	1985	15MPa	15	15	15
Entre Lotes	Barreiro	1985	15MPa	15	15	15
Av. Pres. Tancredo Neves	Flor D'Água	1985	15MPa	15	15	15
R. Araguari	Barro Preto	1985	15MPa	15	15	15
Av. Sarandy	Sarandy	1986	15MPa	-	20	20
Av. Amintas Jacq. Morais	Coqueiros	1986	15MPa	15	15	15
Rua Ari Barroso	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
R. Dito	Do Lago	1986	15MPa	15	15	15
Av. Canal	Jatobá	1986	15MPa	20	20	20
Av. Frei Andreone	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
Av. D. João VI	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
Av. Imperial	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
Av. Vilarinho	Ribei. Do Isidoro	1977	15MPa	15	15	15
Av. Vilarinho	Ribei. Do Isidoro	1984	15MPa	15	15	15
Av. Vilarinho	Ribei. Do Isidoro	1986	15MPa	15	15	15
Av. Vilarinho	Ribei. Do Isidoro	1990	15MPa	15	15	15
Av. Vilarinho	Ribei. Do Isidoro	1993	15MPa	15	15	15
Rua dos Bambus	Água Limpa	1986	15MPa	15	15	15
Av. das Bandeiras	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
Av. Olinto Meireles	Barreiro	1986	15MPa	15	15	15
R. Laplace	Afluente Leitão	1986	15MPa	15	15	15
Av. Prudente de Morais	Leitão	1986	15MPa	15	15	15
Av. Oito	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
Av. N. S. Fátima	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
R. Anil	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
R. Tamboril	Indefinido	1986	15MPa	15	15	15
Av. Magi Salomão	Magi Salomão	1986	15MPa	15	15	15
Av. Antonio Carlos	Cachoeirinha	1986	15MPa	15	15	15
Av. Silvano Brandão	Da Mata	1986	15MPa	15	15	15
Av. Jequitinhonha	Taquaril	1986	15MPa	15	15	15
Av. Jequitinhonha	Taquaril	1988	15MPa	15	15	15
Av. Jequitinhonha	Jonas Veiga	2000	20MPa	15	15	15
Av. Liege	Joaquim Pereira	1988	15MPa	15	15	15
Av. Caravelas	Vera Cruz	1988	15MPa	15	15	15
Av. Anuar Neren	Sta Amélia	1988	15MPa	15	15	15
Av. Anuar Neren	Sta Amélia	1988	15MPa	15	15	15
Av. Alberto Cintra	Cid. Nova	1988	15MPa	15	15	15
Av. Alberto Cintra	Cid. Nova	1988	15MPa	15	15	15
Av. Piracema	Piracema	1988	15MPa	15	15	15
Rua Socrates	Barreiro Grande	1988	15MPa	15	15	15
Rua Lucimara Maroques	Av. Cardeal	1988	15MPa	15	15	15

**Tabela 4.2.d – Relação das galerias de Belo Horizonte feitas pela SUDECAP (4/4)**

<b>GALERIAS FLUVIAIS DE BELO HORIZONTE - 1970 - 2008</b>						
<b>VIA</b>	<b>CÓRREGO</b>	<b>ANO</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>TETO</b>	<b>PISO</b>	<b>PAREDE</b>
Av. Luxemburgo	Indefinido	1988	15MPa	15	15	15
R. Davi Rabelo	Davi Rabelo	1988	15MPa	15	15	15
Indefinido	Do Lago	1988	15MPa	15	15	15
Entre Quadras	Minas Caixa	1988	15MPa	15	15	15
R. Homéro Renaut Baeta	Caixeta	1988	15MPa	15	15	15
R. P. Magalhães Oenido	Engenho	1988	15MPa	15	15	15
Av. 'A'	Indefinido	1988	15MPa	15	15	15
R. H de Abril	Indefinido	1988	15MPa	15	15	15
Av. Martinica	Indefinido	1990	15MPa	15	15	15
Av. Saramenha	Saramenha	1990	15MPa	15	15	15
Av. Mem de Sá	Cardoso	1990	15MPa	15	15	15
Av. Avai	Taiobas	1991	15MPa	15	15	15
Av. Camélias	Indefinido	1991	15MPa	15	15	15
Av. Fleming	Do Tijuco	1992	15MPa	15	15	15
Av. Francisco N. Lima	Do	1992	15MPa	15	15	15
R. Laplace	Afluente Leitão	1994	15MPa	15	15	15
R. Água Limpa	Água Limpa	1994	15MPa	15	15	15
R. Basílio da Gama	Indefinido	1995	15MPa	15	15	15
R. Jataí	Indefinido	1995	15MPa	15	15	15
R. Cardoso	Afluente Cardoso	1996	15MPa	15	15	15
Av. Silva Lobo	Piteiras	1997	15MPa	15	15	15
R. Das Maças	Indefinido	1997	15MPa	15	15	15
Av. Sanizaria	Indefinido	1998	20MPa	15	15	15
Av. Belém	Do Navio	2000	20MPa	15	15	15
R. Sócrates	Gorduras	2001	20MPa	15	15	15
Av. Elias Antonio Issa	Candelaria	2001	20 MPa	15	15	15
Rua Y	Indefinido	2008	40MPa	15	15	15
Av. Antonio Carlos	Antonio Carlos	2008	40MPa	15	15	15

#### **4.4- Informações disponíveis no Plano Diretor de Drenagem**

As informações referentes às galerias de águas pluviais de Belo Horizonte, base para a formação do banco de dados da pesquisa, foram obtidas junto ao Plano Diretor de Drenagem.

Uma das etapas do PDD-BH foi inspecionar e cadastrar todos os canais revestidos fechados, que foram divididos em dois grupos, separando os pertencentes à bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas, dos pertencentes à bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça. Os canais foram codificados com letras e números sequenciais. Quanto às letras, os córregos denominados “DP” são as drenagens principais, os “DS” são as drenagens secundárias, os “DT” são as drenagens terciárias e os “DQ” são as drenagens quaternárias. Como exemplo, o Córrego do Leitão (bacia hidrográfica do Ribeirão Arrudas) foi codificado como DS 115, enquanto o Ribeirão Pampulha (bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça) foi codificado como DP 01C.

O PDD-BH não utilizava o termo “galerias”, mas canais revestidos, pois haviam os canais revestidos abertos e os fechados. As duas terminologias, galerias e canais revestidos fechados, são utilizadas sem distinção neste trabalho.

Todo o serviço de inspeção das galerias foi documentado por fotos e as informações obtidas foram registradas em duas fichas: geometria e manifestações patológicas. Para exemplificar o preenchimento e a utilização das fichas, mostrando o formato e as informações contidas, apresentam-se as fichas elaboradas para o Córrego da Rua Monte Sião, codificado como DT 1.19.3. Cada ficha refere-se a um trecho onde a seção interna do canal é única, assim como a declividade. Todas as vezes em que houve alguma mudança na seção do canal e/ou na declividade, foram elaboradas outras fichas para um novo trecho.

#### 4.4.1. - Fichas de geometria

As fichas de geometria possuem um cabeçalho contendo as principais informações cadastrais do canal, como a localização, código de campo fornecido pelo PDD-BH, bairro, bacia, nome do curso d’água, extensão por trecho, data da elaboração da ficha e localização no mapa. A Figura 4.5 mostra o cabeçalho do Córrego da Rua Monte Sião.

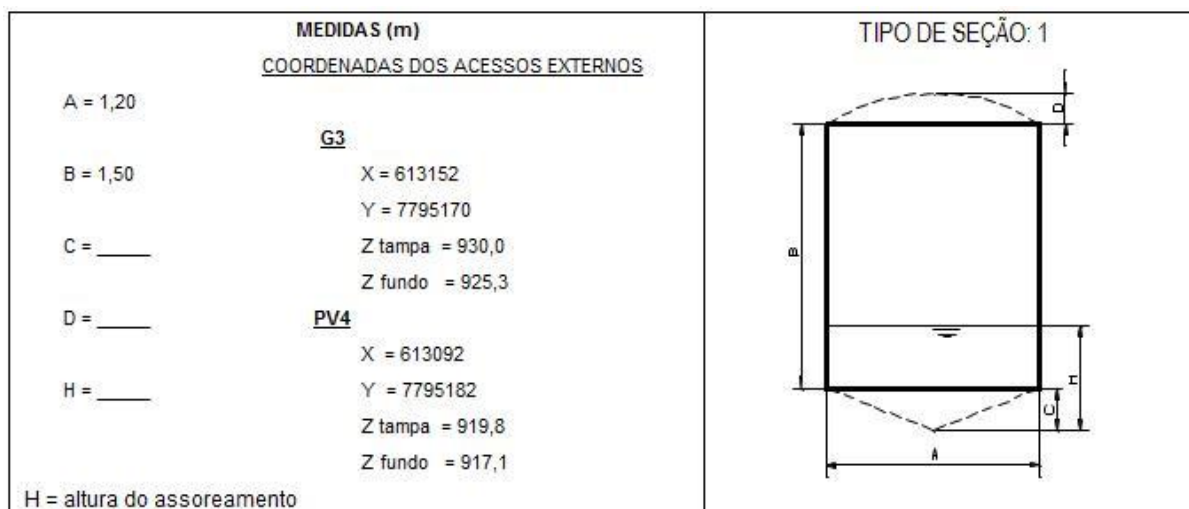
Na ficha de geometria também consta a seção interna do canal por trecho, obtida através de medições com trena. As principais informações contidas na ficha de geometria são: largura (A); altura (B); altura da calha central (C), quando existir; altura da abóbada superior (D), quando existir; altura de assoreamento (H), quando existir.

FOLHA: 6 / 12	<b>LEVANTAMENTO CADASTRAL - MACRODRENAGEM</b>		REGIONAL (IS): Centro-Sul
<b>GEOMETRIA DO CANAL REVESTIDO FECHADO</b>			
LOCALIZAÇÃO R. Amapá cruzamento com R. Monte Sião		CÓDIGO(S) DO(S) LOGRADOURO(S): 46559 / 3052	
BAIRRO: Serra	BACIA: Ribeirão Arrudas	CÓDIGO DA BACIA:	
CURSO D'ÁGUA: Córrego da R. Monte Sião	EXTENSÃO: 58,50 m		
CÓDIGO DE CAMPO: D.T.1.19.3	DATA DE CADASTRO: 05/04/2000	MAPAS: 5449	

**Figura 4. 5 – Levantamento cadastral do canal da Rua Monte Sião (PDD-BH, 2001)**

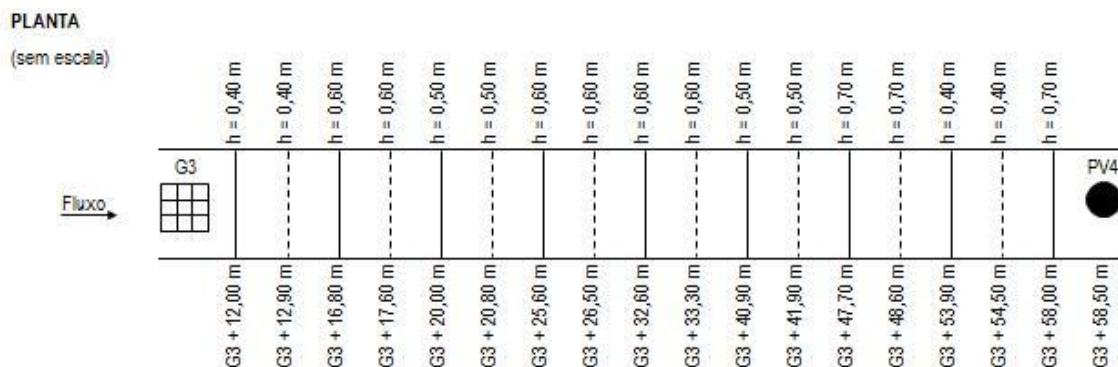
Na Figura 4.6 são apresentadas as informações obtidas no Córrego da Rua Monte Sião (Trecho 6), sendo G3 e PV4 os poços de visita existentes no início e no final do Trecho 6. Na

região dos poços de visita são feitas as medições por topografia: (X) cota da laje de fundo; (Y) cota da laje superior; (Z) a cota de fundo e tampa do poço de visita.



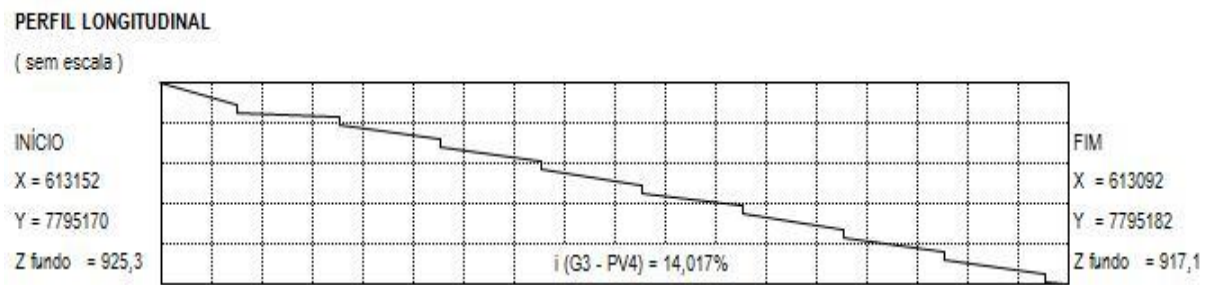
**Figura 4. 6** - Seção do canal da Rua Monte Sião - Trecho 6 (PDD-BH, 2001).

A ficha de geometria é complementada com a planta de cada trecho, sem escala, que mostra também a presença dos degraus, se existentes, indicando a localização, a partir da montante do trecho, e a altura de cada degrau. As linhas cheias referem-se aos degraus existentes na laje de fundo, enquanto as linhas tracejadas indicam os degraus na laje superior. A Figura 4.7 mostra a planta do Córrego da Rua Monte Sião (Trecho 6).



**Figura 4. 7** – Planta do canal do Córrego da Rua Monte Sião -Trecho 6 (PDD-BH, 2001).

A ficha é finalizada com a apresentação do perfil longitudinal da laje de fundo e a declividade do trecho. Todas as vezes que houver uma mudança na declividade, abrem-se outras fichas referentes ao novo trecho. A Figura 4.8 mostra o perfil do Córrego da Rua Monte Sião (Trecho 6), que apresenta declividade acentuada (14%) e a presença de vários degraus com alturas variadas.



**Figura 4. 8** – Perfil do canal do córrego da Rua Monte Sião - Trecho 6 (PDD-BH, 2001)

#### 4.4.2 - Ficha das manifestações patológicas

Para cada ficha de geometria, existe uma correspondente com as manifestações patológicas. As anomalias foram lançadas em planta, com a indicação da local, se pontuais, ou indica o início e fim, se elas forem extensas.

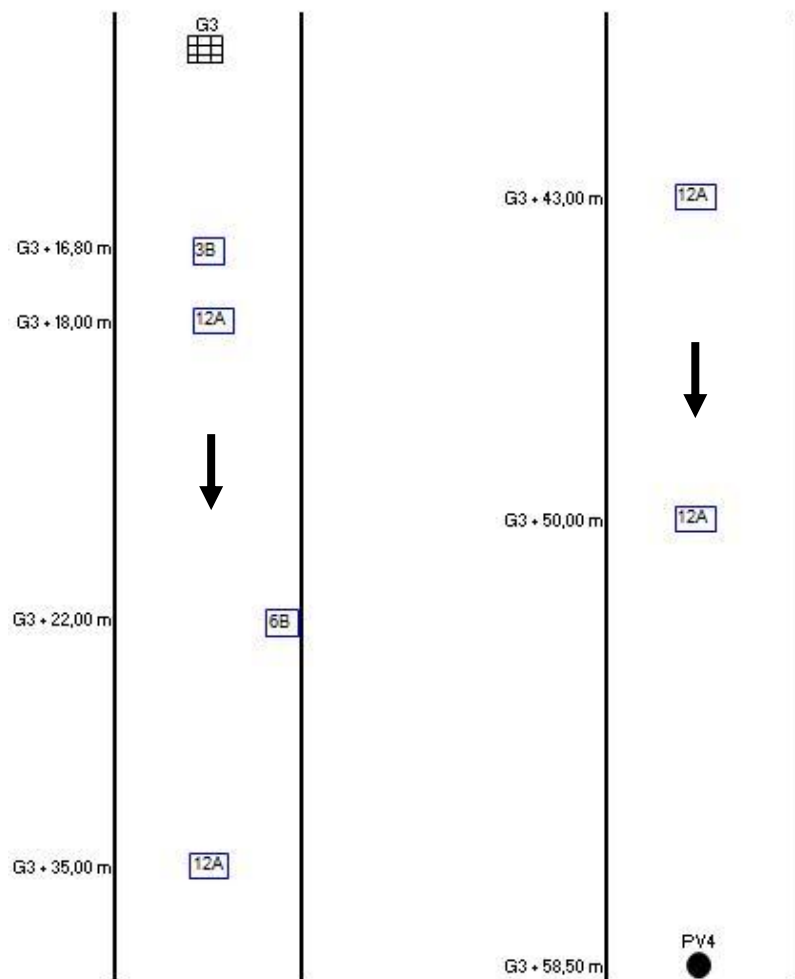
Na parte inferior da ficha com as manifestações patológicas existe um quadro com os 16 tipos mais recorrentes, numerados de 1 a 16. O quadro indica também o grau de intensidade da anomalia, podendo ser (A) alta ou (B) baixa.

As manifestações patológicas são quantificadas e os valores apurados são apresentados neste mesmo quadro. A Figura 4.9 apresenta a ficha com as manifestações patológicas do Trecho 6 da galeria do Córrego da Rua Monte Sião.

No caso do exemplo mostrado na Figura 4.9, foram cadastradas as seguintes manifestações patológicas:

- Perda de parte da estrutura (nº 12) – manifestação patológica de intensidade alta (A);
- Desgaste por cavitação (nº 6) – manifestação patológica de intensidade baixa (B);
- Brocas (nº 3) – manifestação patológica de intensidade baixa (B).

O PDD-BH denominava “ficha de patologia” e não “ficha de manifestação patológica”, conforme convenção atual do meio acadêmico para padronizar este termo.



Quan	Gr	Quan	Gr	PATOLOGIAS ENCONTRADAS	Quan	Gr	Quan	Gr	PATOLOGIAS ENCONTRADAS
	A		B	1-Armadura Exposta (> 1 m <sup>2</sup> )-m <sup>2</sup>		A		B	9-Destacamento do Concreto-m <sup>2</sup>
	A		B	2-Desgaste p/ Abrasão-Concreto-m <sup>2</sup>		A		B	10-Desagregação do Concreto
	A		B	3-Desgaste p/ Cavitação-Concreto		A		B	11-Interferências
	A		B	4-Infiltrações	6,00	A		B	12-Perda de Parte da Estrutura
	A		B	5-Trincas no concreto		A		B	13-Presença de Vegetação dentro da Seção
	A	1,00	B	6-Brocas no concreto (> 1 m <sup>2</sup> )		A		B	14-Patologia de Gabião
	A		B	7-Recalques		A		B	15-Patologia de Concreto Envelopado
	A		B	8-Carreamento de Material("Piping")		A		B	16-Pat. não enquadradas nas Anteriores

**Figura 4.9** – Ficha com as manifestações patológicas do canal da Rua Monte Sião – Trecho 6 (PDD-BH, 2001)

Conforme observado na Figura 4.9, as manifestações patológicas cadastradas em campo de acordo com a lista de patologias encontradas (1 a 16) e respectiva intensidade (A ou B), são lançadas em planta de situação da galeria, sem escala. O caminhamento da galeria é mostrado por duas colunas, de forma esquemática, sendo que as setas indicam o sentido do fluxo.

#### **4.4.3- Diagnóstico estrutural**

As fichas de geometria e manifestações patológicas foram analisadas por especialistas para que fossem elaborados diagnósticos estruturais, avaliando o estado de conservação da galerias e propondo um plano de intervenções.

Nesta parte do trabalho foi apresentada uma ficha resumo, conforme mostrado na Tabela 4.3, com a avaliação do estado geral da estrutura canal, o nível de segurança da estrutura, o nível de segurança para os usuários do local, os trechos onde havia necessidade de intervenção, a quantidade de fichas de geometria e de manifestações patológicas utilizadas, além de um quadro com as quantidades das manifestações patológicas encontradas e cadastradas nas inspeções.

A Tabela 4.3 apresenta a ficha resumo do diagnóstico estrutural do Córrego da Rua Monte Sião, enquanto a Figura 4.10 apresenta o desenho esquemático com o perfil longitudinal, degraus e localização das manifestações patológicas daquela galeria.

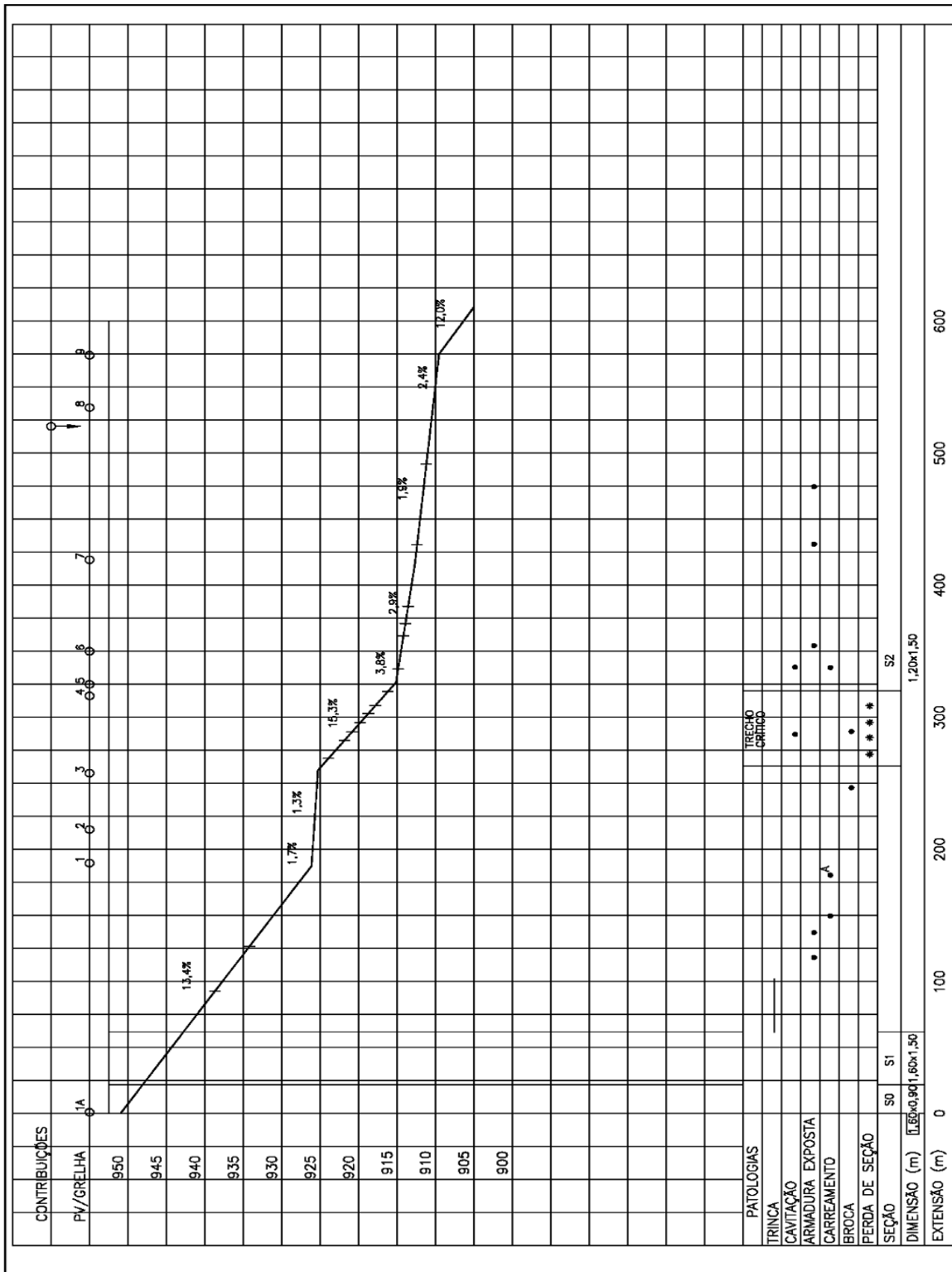
No desenho esquemático, mostrado na Figura 4.10, observa-se que existem manifestações patológicas distribuídas ao longo de toda a extensão da galeria, mas a maior concentração de anomalias (trecho crítico) está localizada entre a G3 e o PV4. Este trecho possui a declividade mais elevada e a maior quantidade de degraus.

Fazia parte integrante dos diagnósticos estruturais a apresentação de um desenho esquemático com todo o perfil do canal, incluindo todos os trechos, com a indicação dos degraus e a localização das principais manifestações patológicas.

**Tabela 4.3 - Diagnóstico Estrutural – Ficha Resumo da Rua Monte Sião  
(PDD-BH, 2001)**

<ul style="list-style-type: none"> <li>Nome: Canal Revestido Fechado da Rua Monte Sião</li> <li>Extensão: 611,10 m</li> </ul>					
	..		SIM	..	NÃO
<ul style="list-style-type: none"> <li>Segurança estrutural comprometida</li> <li>Segurança de bens ou pessoas comprometida</li> <li>Necessidade de ação emergencial</li> </ul>			X	..	..
<hr/>					
Local:	a) PV1A + 60,00 m	c) G3 a PV4 (58,50 m)			
	b) PV1A + 184,00 m				
Tipo:	a) Trincas	c) Perdas de parte da estrutura			
	b) Carreamentos				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichas de Patologia estudadas: n = 12</li> <li>Fichas de Geometria estudadas: n = 12</li> <li>Patologias encontradas</li> </ul>					
Tipo	Intensidade	Quantitativos	Tipo	Intensidade	Quantitativos
1	Alta	..	7	Alta	..
	Baixa	7 m <sup>2</sup>		Baixa	..
2	Alta	..	8	Alta	2 m <sup>3</sup>
	Baixa	1,5 m		Baixa	2 m <sup>3</sup>
3	Alta	..	9	Alta	..
	Baixa	..		Baixa	..
4	Alta	..	10	Alta	..
	Baixa	4 m		Baixa	..
5	Alta	..	11	Alta	..
	Baixa	..		Baixa	..
6	Alta	..	12	Alta	6 m
	Baixa	4 m <sup>2</sup>		Baixa	..

Observação: As unidades métricas variam em função da manifestação patológica, como por exemplo, armaduras expostas em m<sup>2</sup>, trincas em m e carreamentos de materiais em m<sup>3</sup>.



**CANAL REVESTIDO DA RUA MONTE SÃO**

OBS.: OS DESENHOS DOS DEGRAUS SÃO MERAMENTE INDICATIVOS.  
 PERFIL ESQUEMÁTICO - SEM ESCALA.

**Figura 4. 10 – Perfil longitudinal do canal da Rua Monte Siao (PDD-BH, 2001)**

#### **4.5-Procedimentos de segurança para a realização das inspeções**

Para a realização das vistorias nas galerias de águas pluviais urbanas em pleno funcionamento, sem desviar os fluxos de água, é preciso executar diversos procedimentos de segurança, pois são ambientes confinados, com presença de gases orgânicos, algumas vezes tóxicos e letais, pontas de ferro expostas principalmente na laje de piso, buracos profundos, obstruções, entre outros.



**Figura 4.11** - Vestimenta e demais aparatos de segurança utilizados nas inspeções das galerias de águas pluviais

Os principais procedimentos adotados nas inspeções que visam garantir a segurança e integridade física dos inspetores são:

- os investigadores deverão estar clinicamente aptos para a realização dos serviços, sendo permitida somente a entrada de pessoas treinadas e certificadas para trabalhos em ambientes confinados (NBR 14787/ 2001 - Espaço confinado - Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção), vacinadas contra tétano, hepatite A e B;
- a equipe deverá ser a menor possível, recomendando-se a entrada na galeria de no máximo quatro pessoas por equipe de inspeção. Duas seguem à frente, com a finalidade principal de garantir a integridade física dos inspetores, chamada de equipe de segurança, carregando um bastão metálico com 1,50 m de comprimento para testar constantemente a integridade e a resistência do piso da galeria, uma vez que é comum encontrar enormes buracos, encobertos pela água, com profundidades ultrapassando a 3,00 m. As anotações das observações,

medições e fotografias devem ser feitas somente pelos dois inspetores que vem logo depois da equipe de segurança;

- uma das pessoas pertencentes à equipe de segurança deve portar um aparelho detector de gases orgânicos e tóxicos com sinalização sonora de alerta, caso a contaminação no interior das galerias ultrapasse os níveis de segurança recomendados. O aparelho detector de gases, mostrado na Figura 4.11, deverá estar devidamente calibrado. Os gases que podem ser encontrados no ambiente confinado das galerias de águas pluviais são o gás sulfídrico, monóxido de carbono, gases combustíveis e oxigênio;
- todos os participantes da inspeção devem portar macacão sanitário, botas de borracha (preferencialmente até a virilha), máscara de filtro combinado para gases tóxicos e partículas suspensas, luvas de PVC e lanternas, conforme mostrado na Figura 4.11;
- a entrada na galeria é feita através de escadas colocadas convenientemente nos poços de visita ou grelhas, abertos previamente para ventilação, devidamente isolados do tráfego por cones e fitas zebreadas. Caso necessário, deve-se introduzir um sistema de ventilação forçada no interior da galeria;
- o sentido da vistoria será sempre de montante para jusante, acompanhando o sentido fluxo da água, que empurra e dobra para frente as pontas de ferro salientes, facilitando o pisar dos inspetores sobre as ferragens expostas, evitando furar as botas e os pés dos profissionais;
- os trabalhos feitos no interior das galerias são coordenados por uma equipe de apoio de rua, que acompanha e monitora as atividades pelo lado de fora das galerias, tendo uma preocupação muito grande com o clima, uma vez que os trabalhos só podem ser realizados com tempo bom, nunca em dias nublados ou chuvosos. As cabeceiras das galerias devem ser monitoradas também, pois, muitas vezes, elas estão localizadas longe do ponto de inspeção e uma chuva na montante, caso passe despercebida, pode ser fatal para os inspetores. Deve ser executado um plano de resgate de emergência, contando para isto com o Corpo de Bombeiros Militar.

#### **4.6-Criação do banco de dados**

Dentro do Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte foram realizadas inspeções internas em 74 galerias de águas pertencentes à Bacia do Ribeirão Arrudas e 52 galerias que fazem parte da Bacia do Ribeirão da Onça, totalizando 120 km de canais revestidos fechados.

As inspeções formaram um imenso acervo de informações, constituído por mais de 2.000 fotos, 3.000 fichas de manifestações patológicas, 3.000 fichas com cadastros de geometria e 126 relatórios com diagnósticos estruturais.

Para realizar esta pesquisa foi preciso escolher um banco de dados para ser submetido a um tratamento estatístico. Para isto foi necessário selecionar um conjunto de trechos de galerias que fosse representativo de toda a rede de macrodrenagem de Belo Horizonte, sendo escolhidos 458 trechos, distribuídos em 16 galerias.

As informações referentes às 16 galerias, registradas nas fichas de geometria e manifestações patológicas do PDD-BH, foram lançadas em planilha *Excel*, e encontram-se no Apêndice 1. Para cada galeria foi elaborada uma planilha, onde constam as seguintes informações:

1. Bacia hidrográfica a qual pertence a galeria: Ribeirão Arrudas ou Ribeirão da Onça.
2. Trechos: as galerias foram divididas em trechos que têm a mesma seção interna e mesma declividade, estando numerados em ordem crescente a partir da montante.
3. Seção geométrica: são apresentadas, em metros, as dimensões internas da largura e altura da galeria.
4. Profundidade da calha na laje de piso, no caso dela existir.
- 5- Extensão da galeria: é apresentada a extensão em metros, medida entre as alas de montante e jusante.
- 6- Área interna: são apresentadas, em metros quadrados, as seguintes áreas internas - a área (em planta) da laje de piso, a soma das áreas das paredes e laje de teto, a soma da área interna total.
- 7- Declividade: são apresentadas as declividades que cada trecho, em percentagem.
- 8- Classes de declividades: são apresentadas as classes de declividade de cada trecho, que podem estar enquadradas em:
  - A (até 1%) declividade reduzida ou nula
  - B (1% a 3%) declividade baixa
  - C (3% a 6%) declividade média
  - D (6% a 10%) declividade elevada
  - E (acima de 10%) declividade acentuada

As classes de declividade foram definidas neste trabalho, uma vez que esta informação não foi utilizada no PDD-BH.

9- Degrau: é apresentada a quantidade existente em cada trecho.

10- Rampa: é apresentada a quantidade de rampas existentes em cada trecho.

11-Manifestações patológicas: Para cada trecho são apresentadas as manifestações patológicas cadastradas nas fichas, com a quantidade em metros quadrados, que foram enquadradas em cinco tipos:

- Abrasão
- Cavitação
- Ataque químico
- Assoreamento
- Manifestação casual.

Nas fichas do PDD-BH foram utilizadas 16 tipos de anomalias. Decidiu-se reduzir a quantidade das manifestações patológicas para somente cinco tipos, uma vez que abrangem praticamente todas as anomalias observadas no interior da rede de galerias.

12- Níveis de impacto: é apresentada a severidade das manifestações patológicas, de forma qualitativa, dentro de uma escala de riscos aos usuários, podendo estar enquadrada em quatro níveis:

- Nível 1- Nulo ou insignificante
- Nível 2 – Pequeno impacto
- Nível 3 – Médio Impacto
- Nível 4 – Grande impacto

O enquadramento dos níveis de impacto foi feito no trabalho, uma vez que PDD-BH utilizava somente os graus de intensidade das anomalias, podendo ser (A) alta ou (B) baixa ou média. Apresenta-se a seguir os novos critérios adotados, que melhoraram a avaliação dos danos:

- a) Nível 1 (nulo ou insignificante) indica ausência de manifestações patológicas ou presença delas de forma irrelevante.
- b) Nível 2 (pequeno impacto) indica a presença de manifestações patológicas localizadas, de pequena intensidade e severidade
- c) Nível 3 (médio impacto) indica a presença de manifestações patológicas de média a grande intensidade e severidade, sem risco de afetar a funcionalidade e/ou a estabilidade da estrutura
- d) Nível 4 (grande impacto) indica a presença de manifestações patológicas de média a grande intensidade, mas de alta severidade, com risco iminente de afetar a funcionalidade e/ou a estabilidade da estrutura

Os trechos que apresentaram manifestações patológicas irrelevantes ou inexistentes (Nível 1) não foram registrados nas planilhas.

#### **4.7- Informações complementares do banco de dados**

Cabe ressaltar que a principal fonte de informações para a pesquisa foi fornecida pelo PDD-BH, mas alguns complementos importantes tiveram de ser incorporados, obtidos fora do PDD-BH.

Entre as informações complementares necessárias à pesquisa estavam os anos de construção das galerias, obtidas na pesquisa histórica das galerias de Belo Horizonte desenvolvida junto aos engenheiros mais velhos da SUDECAP.

Foi preciso avaliar também, de forma qualitativa, o nível de turbidez da água (nível 1, 2 e 3) e os tipos de sedimentos encontrados nos fluxos. Para isto foram realizadas novas inspeções para retirar amostras da água em cada uma das 16 galerias que formaram o banco de dados. Os resultados com as análises qualitativas foram lançados nas respectivas planilhas, sendo que a metodologia utilizada e demais informações sobre os ensaios estão apresentados no Apêndice 3.

Para comprovar a existência da associação entre a presença de degraus e a corrosão do concreto por causa da liberação dos sulfetos foram realizadas novas incursões no interior da galeria do Córrego da Serra para retiradas de amostras para serem analisadas pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Esta galeria foi escolhida por ter alta contaminação de esgotos clandestinos, sendo feitas medições das quantidades de sulfetos antes e depois de um degrau para verificar a perda para o ar. As análises de sulfetos dissolvidos na água foram feitas utilizando o método espectrofotométrico, sendo que o relatório com a metodologia adotada e os resultados das análises estão apresentados no Apêndice 7.

#### **4.8- Critérios para a seleção dos trechos das galerias**

A seleção dos 458 trechos de galerias foi feita com base no conhecimento do sistema de macrodrenagem de Belo Horizonte, sendo realizada de acordo com alguns critérios para que o conjunto escolhido fosse considerado como representativo de todas as situações encontradas,

tanto das características técnicas das estruturas, quanto das manifestações patológicas e os níveis de impactos.

Assim foram analisados diversos critérios, como a bacia de localização (implica em constituição pedológica e topográfica distintas), extensão dos trechos, idade de construção, declividades, presença de componentes hidráulicos (sedimentos, turbidez da água, rampas, degraus e calhas), presença de manifestações patológicas e níveis de impactos aos usuários.

A Tabela 4.4 apresenta a lista com as 16 galerias, onde estão distribuídos os 458 trechos, com um resumo das principais informações de cada uma delas, sendo que as planilhas com os dados completos estão apresentadas no Apêndice 1.

Em alguns casos foram lançadas mais de uma informação, como por exemplo, quando uma galeria possui trechos que foram construídos em anos diferentes, ou com declividades diferentes, entre outros.

Pela Tabela 4.4, observa-se que foram selecionadas 8 galerias da Bacia do Córrego do Arrudas e 8 galerias da Bacia do Ribeirão da Onça, contemplando, assim, as duas bacias hidrográficas da cidade.

As 16 galerias selecionadas, juntas, possuem uma extensão total de 30.648,22 metros, aproximadamente 25% da extensão total de todas as galerias de Belo Horizonte. As extensões variam entre 513 metros a 4.793 metros. Como cada galeria foi dividida em trechos (mesma declividade e mesma seção interna), o banco de dados ficou constituído por 438 trechos.

Quanto à idade das galerias, foram selecionadas estruturas com idades variando entre 19 a 45 anos de construção, abrangendo os vários patamares de idade, começando pelas galerias consideradas como mais novas (em torno de 20 anos), passando pelas idades intermediárias, até chegar às estruturas mais velhas (em torno de 40 anos), tendo como base final o ano de 2012.

Em relação às declividades, foram selecionadas galerias de forma a contemplar todas as 5 classes de declividade observadas na rede de drenagem de Belo Horizonte: A (até 1%), B (1% a 3%), C (3% a 6%), D (6% a 10%) e E (acima de 10%). Observa-se pela Tabela 4.4 que as galerias selecionadas possuem trechos com pequenas, médias e altas declividades.

Para a escolha das galerias levou-se em consideração estruturas que foram construídas com e sem calhas na laje de fundo, sendo que os trechos com calha abrangem as rasas (5 cm de profundidade), chegando até às mais profundas (até 150 cm). A mesma diretriz foi feita em relação à presença, ou não, de degraus e rampas dentro das galerias.

Finalmente, o banco de dados da pesquisa conta com galerias com os diversos estados de conservação, desde íntegras e em bom estado, até galerias críticas, com alto risco de acidentes.

**Tabela 4.4 – Dados referentes às 16 galerias selecionadas que formam o banco de dados**

Galeria	Bacia	Extensão (metros)	Idade (anos)	Profundidade das calhas (centímetros)	Classes de declividade observadas	Presença de degraus	Presença de rampas	Níveis de impacto das manifestações patológicas
<b>Acaba Mundo</b>	Arrudas	4.793,60	30 a 44	20 a 40	A/B/C/D	SIM	SIM	1/2/3/4
<b>Cardeal</b>	Onça	562,90	23	Sem calha	A/B/C	NÃO	NÃO	1
<b>Ivaí</b>	Onça	767,40	35	5 a 15	B/C/D	SIM	NÃO	1 / 2
<b>Consul Cadar</b>	Arrudas	1.049,70	44	30	B/C	SIM	NÃO	1/2/3/4
<b>Serra</b>	Arrudas	3.644,30	40	30 a 120	A/B/C/D	SIM	SIM	1/2/3/4
<b>Tijuco</b>	Onça	956,70	19	Sem calha	A/B	NÃO	NÃO	1
<b>Engenho Nogueira</b>	Onça	4.280,90	35	15 a 30	A/B/C	NÃO	NÃO	1/2/3
<b>Francisco Deslandes</b>	Arrudas	1.687,00	35	15 a 40	A/B/C/D/E	SIM	SIM	1/2/3
<b>Mem de Sá</b>	Arrudas	2.147,65	21	30 a 60	A/B/C/D/E	SIM	SIM	1/2/3/4
<b>Pernambuco</b>	Arrudas	513,50	31	Sem calha	B/C	SIM	NÃO	1/3/4
<b>Flor de Água</b>	Onça	673,50	26	Sem calha	A/B/C/D	SIM	SIM	1
<b>Taiobas</b>	Onça	3275,50	20	20 a 50	A/B	SIM	NÃO	1 / 2
<b>Coqueiros</b>	Onça	2.567,50	25	Sem calha	A/C	NÃO	NÃO	1/2/3
<b>Açudinho</b>	Onça	1.906,10	21	Sem calha	A/B/C	NÃO	NÃO	1/2/3
<b>Odilon Braga</b>	Arrudas	927,17	45	10 a 40	C/D/E	SIM	SIM	1/2/3/4
<b>Palmira</b>	Arrudas	894,80	30	10 a 20	A/B/C/D/E	SIM	SIM	1/2/3/4

## **5- DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS ESTATÍSTICOS**

Neste capítulo serão apresentadas as metodologias e os principais resultados obtidos nas investigações estatísticas realizadas sobre o banco de dados da pesquisa.

### **5.1-Objetivo**

Os estudos estatísticos tiveram como meta associar as características técnicas e operacionais das galerias de águas pluviais com o seu estado de conservação, buscando entender o surgimento e a evolução das manifestações patológicas. Os conhecimentos adquiridos fornecerão os fundamentos para as conclusões do trabalho.

A associação entre as características das estruturas e as manifestações patológicas está sendo feita há mais de 15 anos através de inspeções sistemáticas ao interior da rede de macrodrenagem de Belo Horizonte. As vistorias geraram diversos relatórios técnicos para o Plano Diretor de Drenagem da cidade, onde estão registradas as informações referentes à geometria das galerias e o cadastro das manifestações patológicas.

Todo este acervo técnico permitiu, em primeiro estágio, que várias análises e conclusões preliminares fossem feitas, fundamentadas em observações empíricas e qualitativas, faltando, entretanto, evidências quantitativas diretas e mais consistentes para confirmá-las. Desta forma, através da realização do estudo estatístico, procurou-se obter bases mais sólidas para as conclusões do trabalho.

Os resultados permitiram avaliar se as conclusões preliminares foram consolidadas, dentro das expectativas, fundamentando as proposições para a implantação do plano de gestão patrimonial de drenagem urbana e para desenvolvimento de novos projetos.

### **5.2-Desenvolvimento metodológico das análises estatísticas**

Para realizar o tratamento estatístico dos dados da pesquisa foram considerados três conjuntos de informações que foram cruzados entre si:

- a) Características das galerias: calha, declividade, degrau, rampa, idade, turbidez, tipos de sedimentos.
- b) Manifestações patológicas: abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e manifestações casuais.

- c) Níveis de impactos aos usuários: 1 (nulo ou insignificante), 2 (pequeno), 3 (médio), 4 (grande).

Os resultados das análises estatísticas apontaram as relevâncias estatísticas que foram constatadas quando se associa as características das galerias, com as suas manifestações patológicas, e os níveis de impacto.

Os estudos foram realizados através do *software* R versão 2.7.1 (R – Project For Statistical Computing) - e EpiInfo versão 6.04, ambas de domínio público, obtendo-se três análises estatísticas: descritiva, univariada e multivariada (Dean, 1996).

A estatística descritiva teve como objetivo descrever e sintetizar o conjunto de dados, utilizando para isto frequências e porcentagens, obtendo medidas de tendência central (média e mediana) e medidas de dispersão (desvio-padrão).

As análises univariadas fizeram comparações de variável por variável de cada galeria, enquanto as multivariadas analisaram as galerias como um todo.

Análise multivariada é o termo utilizado para se referir a modelos de regressão múltipla que buscam explicar uma variável resposta com base no conjunto das variáveis explicativas (características das galerias). Nos modelos estatísticos, denomina-se “variável resposta” aquela em que se está interessado em analisar, sendo o foco de atenção cuja variação ou frequência está em análise. No caso desta pesquisa as variáveis respostas são as manifestações patológicas, quando se pretendeu entender o surgimento e a evolução.

Na análise univariada investigou-se isoladamente a relação entre cada variável explicativa (características das galerias) e a variável resposta (manifestação patológica), sem levar em conta as demais. As variáveis que se mostraram ser mais relevantes estatisticamente foram escolhidas e levadas para participar do modelo final, correspondente à análise multivariada, que consistiu em avaliar simultaneamente, em um único modelo, o efeito das variáveis selecionadas (características das galerias) sobre as variáveis respostas (manifestação patológica).

É comum que variáveis “estatisticamente significativas” na univariada percam a importância na multivariada. Isso pode acontecer, pois quando se analisa um fator

isoladamente, não está sendo levado em conta outras características que podem estar relacionadas a este fator.

Apesar da robustez das técnicas estatísticas, de acordo com Paes (2010), deve-se estar alerta quanto às limitações e erros na interpretação das estimativas, sendo preciso se preocupar com a qualidade de ajuste dos modelos. Em resumo, além de elaborar o programa estatístico e produzir uma “análise multivariada”, é preciso analisar criteriosamente os modelos e verificar se as suposições assumidas estão satisfeitas.

Para realizar as análises univariadas e multivariadas da pesquisa, as manifestações patológicas (variáveis respostas) foram estudadas segundo dois modelos: o primeiro teve como base o nível de impacto, quando foi realizada a comparação deste com cada uma das características; o segundo modelo compara a área ponderada associada a cada manifestação patológica com a área total da estrutura.

O banco de dados utilizado na pesquisa é formado ao todo por 458 trechos de 16 galerias, apresentadas no Apêndice 1, sendo que 12 galerias foram submetidas às análises univariadas e multivariadas, e 4 foram selecionadas para participar da validação do modelo.

Após a conclusão das análises univariadas e multivariadas, quando o modelo foi ajustado, foi feita a sua validação. O objetivo da validação do modelo é comparar o comportamento dos modelos propostos com o comportamento de quatro galerias escolhidas: Açudinho, Odilon Braga, Palmira, Coqueiros.

Todas as informações e resultados gerados nos estudos estatísticos estão apresentados nos apêndices 4, 5 e 6, sendo que este capítulo apresenta somente o resumo das principais conclusões e uma análise crítica dos resultados.

Finalmente, cabe esclarecer que como foi necessária a utilização de *software* comercial específico para realizar aos estudos estatísticos, contou-se com a colaboração de especialistas nesta matéria. Destaca-se aqui a colaboração do Prof. Marcelo Militão.

### **5.3- Análise descritiva**

O conjunto das 12 galerias analisadas para a modelagem é constituído por 368 trechos.

As manifestações patológicas mais recorrentes são, por ordem:

- Abrasão .....7,1%
- Ataque químico.....4,8%
- Assoreamento..... 2,0%
- Cavitação.....1,3%
- Manifestações casuais.....1,0%

Os resultados se referem à percentagem da área interna total das galerias. Observa-se que a soma das percentagens é de 16,2%, ou seja, 83,8% da área interna das galerias apresentaram manifestações patológicas irrelevantes ou ausência destas.

Quanto às manifestações patológicas mais recorrentes, os resultados ficaram dentro das expectativas, uma vez que o desgaste lento, mas constante, nas lajes de fundo das galerias sempre foi a manifestação patológica mais observada nas inspeções, seguido das armaduras expostas nas lajes de teto devido ao ataque químico. Ressalta-se que apesar da menor presença, somente 1,3%, a cavitação é a manifestação patológica que causa maior impacto nas estruturas, de acordo com as observações de campo.

Dos 368 trechos estudados 31,0% possuem degraus e 13,9% têm rampas, mostrando o quanto é acidentada a topografia da cidade de Belo Horizonte. Foram constatados sérios problemas nas regiões com maior declividade, onde o impacto das manifestações patológicas atingiu o nível 4. A análise descritiva mostrou que a declividade média é 2,6%, mas chega até a 16,6%. As declividades mais recorrentes são, por ordem:

- Média (3% a 6%)..... 34,6%
- Baixa (1% a 3%).....29,2%
- Nula ou reduzida (0% a 1%).....25,3%
- Elevada (6% a 10%)..... 9,8%
- Acentuada (acima de 10%).....1,1%

A grande maioria dos trechos analisados (89,1%) possui declividades variando entre 0% a 6%. Apesar da maior extensão das galerias possuir declividades que variam de nula ou reduzida à média, deve-se ressaltar que as manifestações patológicas mais

severas foram verificadas nos trechos com declividade mais alta, acima de 6%, onde há maior presença de degraus e, como consequência, ocorrem as cavitações.

Em relação às calhas, observou-se maior frequência de trechos com calhas variando entre 10 a 60 centímetros, mas atingem até 150 centímetros de profundidade. Ressalta-se que a presença de calhas está sempre associada ao surgimento de severas manifestações patológicas.

Quanto às idades das galerias, a análise descritiva mostrou que elas possuem entre 19 a 44 anos, sendo que a idade média foi de 35 anos. Como se admite *a priori* uma ligação direta entre a idade das galerias e a extensão das manifestações patológicas, constata-se que transcorridos 35 anos, somente 16,2% da área interna das galerias apresentam manifestações patológicas relevantes. O resultado indica que a rede de galerias de Belo Horizonte, percentualmente, tem poucos problemas.

As informações completas em relação à análise descritiva estão no Apêndice 4.

#### **5.4- Análises univariadas e multivariadas**

Em função da complexidade e interdependência das variáveis envolvidas na pesquisa, a análise crítica dos resultados teve como foco principal as informações obtidas nas análises multivariadas, por serem, *a priori*, mais esclarecedoras que os resultados das análises univariadas. Em função disto as informações obtidas nos quadros A 4.3 (pag. 207) e A 4.4 (pag. 209) das análises estatísticas, apresentadas no Apêndice 4, passaram a ser o alvo da análise crítica, pois elas mostram o resumo das principais conclusões das análises multivariadas.

O Quadro A 4.3 apresenta o resumo das análises multivariadas utilizando o modelo com foco no nível de impacto, enquanto o Quadro A 4.4 apresenta o resumo das análises multivariadas para o modelo com foco na área ponderada pela área total. Os números em negrito são aqueles que apresentaram relevância estatística, ou seja, aqueles que foram levados em consideração na análise crítica.

Em cada célula dos quadros A 4.3 e A 4.4 é possível observar dois números: acima o O.R. (Odds Ratio), abaixo o I.C. (Intervalo de Confiança).

Segundo Gardner (1998), O.R. é a razão de chances, um valor que mede o quanto uma chance é maior que a outra. É definida como a razão entre a chance de um evento ocorrer em um grupo e a chance de ocorrer em outro grupo. Chance é a probabilidade de ocorrência deste evento, dividida pela probabilidade da não ocorrência do mesmo evento. Uma razão de chance igual à unidade 1 indica que a condição ou evento sob estudo é igualmente provável de ocorrer nos dois grupos. Uma razão de chance maior do que 1 indica que a condição ou evento tem maior probabilidade de ocorrer no primeiro grupo. Finalmente, uma razão de chance menor do que 1 indica que a probabilidade é menor no primeiro grupo do que no segundo. A razão de chances precisa ser igual ou maior que zero. Se a chance do primeiro grupo ficar próxima de zero, o O.R. fica próximo de zero. Se a chance do segundo grupo se aproximar de zero, o O.R. tende a aumentar ao infinito positivo.

Segundo Goldstein (1995), em estatística, um intervalo de confiança (I.C.) é um intervalo estimado de um parâmetro estatístico. Em vez de estimar o parâmetro por um único valor, é dado um intervalo de estimativas prováveis. A probabilidade destas estimativas é determinada pelo coeficiente de confiança. Quanto maior a probabilidade de o intervalo conter o parâmetro, maior será o intervalo. Assim, Intervalos de Confiança são usados para indicar a confiabilidade de uma estimativa.

O Intervalo de Confiança (I.C.) para ter relevância estatística, não pode ter em seu intervalo o número 1, que corresponde à igualdade da probabilidade de confirmação ou negação. Assim estão em negrito todos os IC que estão acima ou abaixo de 1, ressaltando que quanto maior for O.R., maior a probabilidade do evento ocorrer. O importante para a análise crítica foi observar quais as células dos quadros A.4.3 e A.4.4 estão com o O.R. e I.C. em negrito, pois elas têm a relevância estatística que a pesquisa estava buscando.

Para facilitar a visualização dos resultados que mais interessam para a análise crítica, apresentam-se a seguir as tabelas 5.1 e 5.2. Elas são transcrições dos quadros A.4.3 e A.4.4, que estão no Apêndice 4, porém, mostram somente as células que apresentaram relevância estatística, desprezando as demais.

A Tabela 5.1 apresenta a síntese das análises multivariadas para o nível de impacto, mostrando as relevâncias estatísticas do cruzamento das manifestações patológicas com

as características das galerias, separadas por nível de impacto.

A Tabela 5.2 apresenta a síntese das análises multivariadas segundo o modelo com foco na área ponderada pela área total, mostrando as relevâncias estatísticas do cruzamento das manifestações patológicas com as características das galerias. Observa-se que abaixo de cada manifestação patológica existem colunas, que se referem aos modelos matemáticos feitos para cada uma destas, sendo 2 para abrasão (I e II), 2 para cavitação (I e II), 1 para ataque químico (I), 3 para assoreamento e 3 para manifestações patológicas casuais (I, II e III).

Importante observar que na Tabela 5.2, não constam as características “degrau” e “rampa”. Isto porque, em função da amostragem e dos modelos matemáticos utilizados, estas duas características não apresentaram relevância matemática nas suas análises univariadas, não sendo pertinentes a sua participação nos modelos multivariados.

Como estas duas características, principalmente o degrau, são fundamentais nos processos de formação de várias manifestações patológicas, os modelos matemáticos com base na área ponderada pela área total mostraram-se estar fora da realidade. Por causa disto a análise crítica não levou em consideração estes modelos, pois os resultados vão de encontro a vários conceitos teóricos e práticos já consolidados. Em função do exposto, o foco da análise crítica passou a ser somente as informações contidas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1-** Síntese das análises multivariadas para nível de impacto

Nível de impacto	Características	Manifestações patológicas			
		Abrasão	Cavitação	Ataque Químico	Assoreamento
Nível 2	Degrau	<b>4,2</b> <b>(1,7 a 10,6)</b>	..	..	..
	Rampa	..	..	<b>3,3</b> <b>(1,5 a 7,3)</b>	..
	Turbidez Nível 2	<b>0,4</b> <b>(0,1 a 0,99)</b>	..	..	..
	Tipo de sedimento	..	..	..	<b>56,8</b> <b>(9,1 a 354,7)</b>
	Calha	..	..	<b>3,5</b> <b>(1,3 a 9,6)</b>	<b>0,03</b> <b>(0,0 a 0,5)</b>
	Declividade	<b>0,8</b> <b>(0,6 a 1,0)</b>	..	..	..
	Idade da galeria (anos)	..	..	<b>1,2</b> <b>(1,1 a 1,3)</b>	--
	Nível 3	Degrau	..	..	..
Rampa		<b>2,9</b> <b>(1,3 a 6,6)</b>	<b>6,5</b> <b>(1,7 a 25,0)</b>	<b>6,8</b> <b>(3,0 a 15,7)</b>	--
Turbidez Nível 2		<b>0,1</b> <b>(0,02 a 0,2)</b>	..	..	..
Turbidez Nível 3		<b>0,4</b> <b>(0,2 a 0,9)</b>	..	..	..
Calha		..	..	<b>5,3</b> <b>(1,8 a 15,6)</b>	..
Declividade		..	..	..	<b>1,8</b> <b>(1,2 a 2,6)</b>
Idade da galeria (anos)		<b>1,1</b> <b>(1,01 a 1,2)</b>	..	<b>1,2</b> <b>(1,1 a 1,2)</b>	..
Nível 4		Degrau	..	<b>10,1</b> <b>(4,0 a 25,4)</b>	<b>6,9</b> <b>(1,2 a 40,3)</b>
	Rampa	..	<b>21,8</b> <b>(8,6 a 55,3)</b>	..	..
	Turbidez Nível 2	..	<b>3,6</b> <b>(1,4 a 9,3)</b>	..	..
	Turbidez Nível 3	..	..	..	..
	Calha	<b>14,2</b> <b>(2,6 a 79,6)</b>	..	..	..
	Declividade	..	..	..	..
	Idade da galeria	..	<b>1,2</b> <b>(1,01 a 1,3)</b>	..	--

**Tabela 5.2 - Síntese das análises multivariadas para área ponderada pela área total**

Características		Manifestações patológicas										
		Abrasão		Cavitação		Ataque Químico	Assoreamento			Casual		
		I	II	I	II	I	I	II	III	I	II	III
Turbidez	Nível 1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	Nível 2	<b>0,5</b> (0,3 a 0,7)	..	<b>0,6</b> (0,4 a 0,9)	..	<b>0,3</b> (0,2 a 0,5)	<b>0,1</b> (0,01 a 0,6)	..	..	..	..	..
	Nível 3	<b>0,5</b> (0,4 a 0,7)	..	..	..	..	..	..	..	<b>0,5</b> (0,4 0,8)	..	..
	Areia	..	<b>0,5</b> (0,3 a 0,9)	..	<b>12,3</b> (1,4 a 108,6)	..	..	<b>8,9</b> (1,2 a 65,3)	..	..	<b>0,6</b> (0,4 a 0,9)	..
	Areia + matéria orgânica	..	..	..	..	<b>0,3</b> (0,1 a 0,8)	..	..	..	..	..	..
	Argila + matéria orgânica	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	Matéria orgânica	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Declividade	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	D	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	<b>3,1</b> (1,6 a 6,0)
	E	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	Calha	..	..	<b>2,1</b> (1,2 a 3,4)	<b>2,2</b> (1,3 a 3,7)	<b>3,1</b> (2,2 a 3,1)	..	..	<b>6,2</b> (1,6 a 24,9)	..	..	..
	Declividade	..	..	<b>1,2</b> (1,1 a 1,3)	<b>1,3</b> (1,1 a 1,4)	..	..	..	..	..	..	..
Idade da galeria	<b>1,05</b> (1,03 a 1,07)	<b>1,04</b> (1,01 a 1,08)	<b>1,1</b> (1,02 a 1,2)	<b>1,2</b> (1,1 a 1,3)	..	..	..	..	..	..	..	

### 5.5- Validação do modelo proposto

Para validar o modelo matemático ajustado nas análises multivariadas das 12 galerias (368 trechos) foi utilizado outro conjunto de 4 galerias (90 trechos), sendo duas pertencentes à bacia do Arrudas (Odilon Braga e Palmira) e duas à bacia da Onça (Coqueiros, Açudinho).

Para os estudos de validação também foram utilizados os dois modelos matemáticos, sendo um com foco no nível de impacto e outro com foco na área ponderada pela área total. Neste caso também não foi considerado o modelo com foco na área ponderada pela área total não estar bem ajustado.

Na realidade o modelo da área ponderada pela área total, que foi descartado, poderia ter sido retirado do trabalho, mas resolveu-se mantê-lo para evidenciar a busca que foi feita para chegar, estatisticamente, ao modelo matemático que fosse o mais bem ajustado à proposição da pesquisa.

Conforme Tabela 5.3, considerando-se somente o modelo com foco nos impactos, observa-se que as características das galerias analisadas apresentaram relevantes porcentagens de acerto quando associadas às manifestações patológicas, sendo de 91% para a abrasão, 78,9% para a cavitação, 60% para os ataques químicos e 94,4% para os assoreamentos. Em função disto, considera-se validado o modelo.

**Tabela 5.3-** Porcentagem de acerto na associação das características e as manifestações patológicas

Características	Manifestações Patológicas			
	Abrasão	Cavitação	Ataque Químico	Assoreamento
Degrau	Sim	Sim	Sim	Sim
Rampa	Sim	Sim	Sim	Não
Turbidez da água	Sim	Sim	Não	Não
Tipo de sedimento	Não	Não	Não	Sim
Calha	Sim	Sim	Sim	Sim
Declividade	Sim	Não	Não	Sim
Idade da galeria	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Porcentagem de acerto</b>	<b>91,0%</b>	<b>78,9%</b>	<b>60,0%</b>	<b>94,4%</b>

As informações completas referentes à validação do modelo estão apresentadas no Apêndice 6.

## 5.6- Análise crítica dos resultados

O objetivo da análise crítica dos estudos estatísticos foi comparar os resultados obtidos com as expectativas baseadas em conclusões preliminares. Para isto são apresentadas a seguir tabelas, onde foram lançadas as expectativas, marcadas com (•), e os resultados que apresentaram relevância estatística na Tabela 5.1, marcadas com (X). Assim foi possível verificar se as expectativas de ocorrência de manifestações patologias para cada característica das galerias foram consolidadas estatisticamente.

### 5.6.1- Análise dos degraus

As conclusões preliminares em relação ao degrau indicavam que a presença desta característica das galerias é uma das mais importantes para o surgimento de manifestações patológicas, estando sempre associada à ocorrência da abrasão e cavitação, devido ao maior impacto dos sedimentos na superfície do concreto e ao ataque químico, por causa da liberação de gás sulfídrico quando há turbulência do fluxo.

**Tabela 5.4** : Análise da característica degrau e as manifestações patológicas

EXPECTATIVA				Relevância Estatística											
				ABRASÃO			CAVITAÇÃO			ATAQ. QUÍM.			ASSOREAM.		
ABRASÃO	CAVITAÇÃO	ATAQ. QUÍM.	ASSOREAM.	impacto			Impacto			impacto			impacto		
				2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
•	•	•	..	X	..	..	..	..	X	..	..	X	..	X	..

Pela Tabela 5.4 é possível observar que a característica degrau apresentou relevância estatística para a abrasão (nível de impacto 2), cavitação (nível de impacto 4), ataque químico (nível de impacto 4) e assoreamento (nível 3).

Verifica-se que os resultados dos estudos estatísticos confirmaram as expectativas quanto à abrasão, cavitação e ataque químico, sendo que os níveis de impactos para cada uma das variáveis são, em geral, os mais recorrentes no campo. Quanto aos assoreamentos, não havia expectativa na associação com o degrau, uma vez que a presença de degraus somente é observada em médias e altas declividades, quando normalmente não há assoreamento. Mas, em função da amostragem, constatou-se relevância estatística para esta associação.

### 5.6.2- Análise das rampas

A expectativa em função das conclusões preliminares era que a rampa fosse uma característica, assim como o degrau, muito associada à presença da abrasão e cavitação, por causa do aumento da velocidade dos sedimentos em contato com a superfície de concreto e da mudança na direção do escoamento, além do ataque químico por causa do aumento da turbulência no fluxo. Em relação aos assoreamentos, não havia expectativa de haver associação com as rampas, pois esta característica aumenta a velocidade do fluxo, evitando o acúmulo de sedimentos nestas regiões.

**Tabela 5.5:** Análise da característica rampa e as manifestações patológicas

EXPECTATIVA				Relevância Estatística											
ABRASÃO	CAVITAÇÃO	ATAQ. QUÍM.	ASSOREAM.	ABRASÃO			CAVITAÇÃO			ATAQ. QUÍM.			ASSOREAM.		
				impacto			impacto			impacto			impacto		
				2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
.	.	.	..	..	X	..	..	X	X	X	X	..	..	..	..

A Tabela 5.5 mostra que as rampas apresentaram relevância estatística na associação com a abrasão (impacto nível 3), cavitação (impacto nível 3 e 4) e ataque químico (impacto nível 2 e 3). Não houve relevância estatística na associação das rampas com o assoreamento.

Pelo mostrado na Tabela 5.5, constata-se que os estudos estatísticos e as expectativas também ficaram bem alinhados em relação a esta característica. Em função do exposto, ficou comprovado estatisticamente que as rampas estão associadas à presença de manifestações patológicas severas, como a abrasão, cavitação e ataque químico.

Quanto ao nível de impacto, os resultados estatísticos mostraram estar dentro da realidade observada em campo.

### 5.6.3- Análise das calhas

As expectativas quanto à presença das calhas no interior das galerias eram que elas fossem relevantes para o surgimento da abrasão (maior concentração dos sedimentos no centro da laje de fundo), ataque químico (concentração dos contaminantes e aumento da turbulência do fluxo) e dos assoreamentos (concentração dos sedimentos nos trechos de baixa declividade). Pelas inspeções de campo observou-se que a profundidade da calha parece ter grande influência no nível de impacto, principalmente na abrasão.

**Tabela 5.6:** Análise da característica calha e as manifestações patológicas

EXPECTATIVA				Relevância Estatística											
ABRASÃO	CAVITAÇÃO	ATAQ. QUÍM.	ASSOREAM.	ABRASÃO			CAVITAÇÃO			ATAQ. QUÍM.			ASSOREAM.		
				impacto			impacto			impacto			impacto		
				2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
.	..	.	.	..	..	X	..	..	..	X	X	..	X	..	..

A partir das informações contidas na Tabela 5.6 observa-se que a característica calha mostrou ser relevante estatisticamente quando associada à abrasão (nível de impacto 4), ataque químico (nível de impacto 2 e 3) e assoreamento (nível de impacto 2).

Pela Tabela 5.6 constata-se que houve alinhamento dos resultados das relevâncias estatísticas com as expectativas, comprovando-se que as calhas podem ser muito prejudiciais à durabilidade das estruturas de concreto, uma vez que elas estão associadas à presença da abrasão, ataque químico e assoreamento.

#### 5.6.4- Análise da idade das galerias

Havia uma forte expectativa quanto à influência da idade das galerias sobre as deteriorações das estruturas, como a abrasão, cavitação e ataque químico, uma vez que são manifestações patológicas que afetam as estruturas de concreto de forma lenta e gradual, à medida que os anos vão passando. Quanto aos assoreamentos não havia expectativa de associação com a idade.

**Tabela 5.7:** Análise da característica idade e as manifestações patológicas

EXPECTATIVA				Relevância Estatística											
ABRASÃO	CAVITAÇÃO	ATAQ. QUÍM.	ASSOREAM.	ABRASÃO			CAVITAÇÃO			ATAQ. QUÍM.			ASSOREAM.		
				impacto			impacto			impacto			impacto		
				2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
.	.	.	..	..	X	..	..	..	X	X	X	..	..	..	..

As análises estatísticas mostradas na Tabela 5.7 indicam que a idade das galerias está realmente associada à abrasão (nível de impacto 3), cavitação (nível de impacto 4) e ataque químico (nível de impacto 2 e 3), não havendo relevância para o assoreamento.

Neste caso houve também amplo alinhamento entre os resultados estatísticos e as expectativas, particularmente nos níveis de impacto.

### 5.6.5- Análise das declividades

A expectativa era que as declividades apresentassem relevâncias estatísticas para o assoreamento nos trechos com declividade baixa, assim como fosse relevante a associação da abrasão, cavitação e ataque químico com as declividades médias e altas, uma vez que, quanto maior a declividade, maior a presença de degraus e rampas que causam a abrasão e cavitação, além dos ataques químicos.

**Tabela 5.8:** Análise da característica declividade e as manifestações patológicas

EXPECTATIVA				Relevância Estatística													
				ABRASÃO			CAVITAÇÃO			ATAQ. QUÍM.			ASSOREAM.				
ABRASÃO	CAVITAÇÃO	ATAQ. QUÍM.	ASSOREAM.	impacto			impacto			impacto			impacto				
				2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4		
.	.	.	.	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	<b>X</b>	..

Os resultados da Tabela 5.8 mostram que a característica declividade apresentou relevância estatística somente na formação dos assoreamentos (nível de impacto 3), não havendo relevância para as demais variáveis.

Como o resultado foi surpreendente, criticou-se o modelo matemático utilizado para avaliar esta característica, que agrupou todas as cinco classes de declividade, não havendo a separação entre as declividades baixa, média e alta. Além disto, o modelo matemático adotado, ao agrupar todas as classes de declividade, espelhou a realidade somente quando se trata de declividades baixas, apresentando falhas em relação às declividades médias e altas, que são as mais importantes na associação com a abrasão, cavitação e ataque químico.

Em função dos resultados das análises estatísticas para as declividades ficarem fora da expectativa procedeu-se novos estudos, associando-se desta vez o nível de impacto e as classes de declividades (A, B, C, D e E) para as cinco variáveis de interesse (abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual).

Os resultados completos desta nova análise, refinada, estão apresentados no Apêndice 5, onde se observa que as características degrau e rampa possuem clara associação com as classes de declividade, confirmando as conclusões preliminares.

A seguir é apresentada a Tabela 5.9, com os resultados da análise estatística complementar.

**Tabela 5.9:** Análise refinada da característica declividade e as manifestações patológicas

EXPECTATIVA				Relevância Estatística												
				ABRASÃO			CAVITAÇÃO			ATAQ. QUÍM.			ASSOREAM.			
ABRASÃO	CAVITAÇÃO	ATAQ. QUÍM.	ASSOREAM.	impacto			Impacto			Impacto			Impacto			
				2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
•	•	•	•	X	..	..	..	X	X	..	..	..	..	..	..	..

Pela análise univariada realizada na análise complementar, todas as características (abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual) foram chamadas a participar do ajuste do modelo multivariado por apresentarem relevância estatística, mostrando que, isoladamente, há relação entre o nível de impacto das cinco características com as classes de declividades, conforme expectativa. Mas quando as amostras foram estudadas como um todo, dentro da análise multivariada, verificou-se relevância estatística somente para a abrasão (nível de impacto 2) e a cavitação (nível de impacto 3 e 4), conforme observado na Tabela 5.9.

Portanto, a nova análise estatística multivariada confirmou as expectativas quanto à importância da associação entre as classes de declividade e a presença das manifestações patológicas que mais degradam as estruturas: cavitação e abrasão. Porém, não ficou constatada a relevância estatística da associação da declividade com os ataques químicos e assoreamentos. Esta situação exigiu uma análise mais profunda dos estudos para avaliar os motivos da ausência destas associações.

Quanto ao ataque químico, se observou que outras características presentes no modelo estavam mais associadas a esta variável que a classe de declividade, por isto, a declividade não permaneceu no modelo final.

Em relação ao assoreamento, simplesmente não foi detectada a associação nas análises estatísticas, possivelmente, em função das amostragens para os níveis de impacto 2 e 3 terem sido pequenas.

Em resumo, a experiência prática e a literatura criaram a expectativa que a característica declividade estivesse associada à presença da abrasão, cavitação, ataque químico e assoreamento, mas a estatística, dentro da amostragem utilizada e do ajuste do modelo feito, só constatou relevância para a abrasão e a cavitação.

## **5.7- Considerações sobre os estudos estatísticos**

Os resultados obtidos nas análises estatísticas realizadas, incluindo as complementares, de um modo geral, ficaram dentro das expectativas, consolidando estatisticamente a maioria das conclusões preliminares realizadas.

As divergências, relativamente pequenas, ficaram por conta da ausência de relevância estatística na associação das classes de declividades com o nível de impacto das características ataque químico e assoreamentos. As discrepâncias tiveram origem no modelo estatístico adotado, não influenciando significativamente as conclusões finais do trabalho.

A presença de degraus no interior das galerias de águas pluviais urbanas deve ser vista como uma característica nociva à durabilidade das estruturas, devendo ser levados em consideração quando da elaboração de programa de manutenção e de novos projetos de galerias, pois ficou comprovado estatisticamente que os degraus estão associados ao surgimento de manifestações patológicas como a abrasão, cavitação e ataque químico.

Os estudos estatísticos comprovaram que as rampas estão associadas à presença de manifestações patológicas severas como a abrasão, cavitação e ataque químico. Portanto, os danos que as rampas provocam devem ser lembrados quando da realização de planos de gestão patrimonial e novos projetos de galerias.

As calhas podem ser muito prejudiciais à durabilidade das estruturas de concreto, uma vez que elas apresentaram relevância estatística na associação com a abrasão, ataque químico e assoreamento, devendo, portanto, ser evitadas quando da elaboração de novos projetos.

Estatisticamente ficou comprovado, conforme observado na Tabela 5.1, que a idade das galerias de concreto está interligada com a durabilidade das estruturas, requerendo, portanto, um plano de monitoramento sistemático para avaliar a evolução dos desgastes ao longo do tempo.

As declividades são fundamentais no comportamento hidráulico das galerias, ficando estatisticamente comprovado que os degraus e as rampas possuem fortes associações com as classes de declividade. Além disto, a abrasão e a cavitação, manifestações patológicas que causam grandes impactos nas estruturas de concreto, estão associadas às classes de declividades. Portanto, as declividades devem ser alvo de muita atenção quando da elaboração

de planos de gestão patrimonial de drenagem urbana e diretrizes para novos projetos, pois interferem diretamente na durabilidade das estruturas.

As manifestações patológicas casuais não foram incluídas na análise crítica por serem eventuais, não havendo expectativas para elas, nem universo amostral específico para a exploração estatística.

Para avaliar de forma qualitativa as características “turbidez da água” e “tipos de sedimentos” foram retiradas duas amostras de água de cada uma das 16 galerias estudadas. Esta amostragem mostrou-se ser muito reduzida, ficando desproporcional quando comparada ao tamanho das demais amostragens utilizadas na pesquisa. Em função disto, as informações referentes a estas características, apesar de constarem das planilhas dos resultados estatísticos, não foram objeto de análise.

Para fundamentar ainda mais as conclusões preliminares a respeito das manifestações patológicas no interior das galerias de águas pluviais urbanas durante o PDD-BH foram feitas novas incursões no interior das galerias, não só em Belo Horizonte, mas em outras cidades, como Contagem (MG), Ipatinga (MG), Betim (MG) e Vitória(ES).

Cabe ressaltar que não foram feitas correlações estatísticas entre as resistências do concreto das estruturas com as manifestações patológicas por que não foram realizados ensaios para comprovar a resistência real, sendo portanto, somente um parâmetro de projeto.

Em relação à porcentagem de acertos na associação das características e as manifestações patológicas mostradas na Tabela 5.3, referente à validação do modelo estatístico utilizado, constata-se que houve uma discrepância nos resultados dos ataques químicos. A diferença em relação às demais porcentagens foi considerada normal em função da grande dificuldade de se obter resultados confiáveis quando se realiza a análise químicas.

Finalmente, deve-se alertar que os assoreamentos e outras manifestações patológicas podem estar mais associados à mudança de declividade, do que a declividade propriamente dita.

## **6- DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DE PLANOS PARA GESTÃO PATRIMONIAL DE DRENAGEM URBANA**

### ***6.1 Introdução***

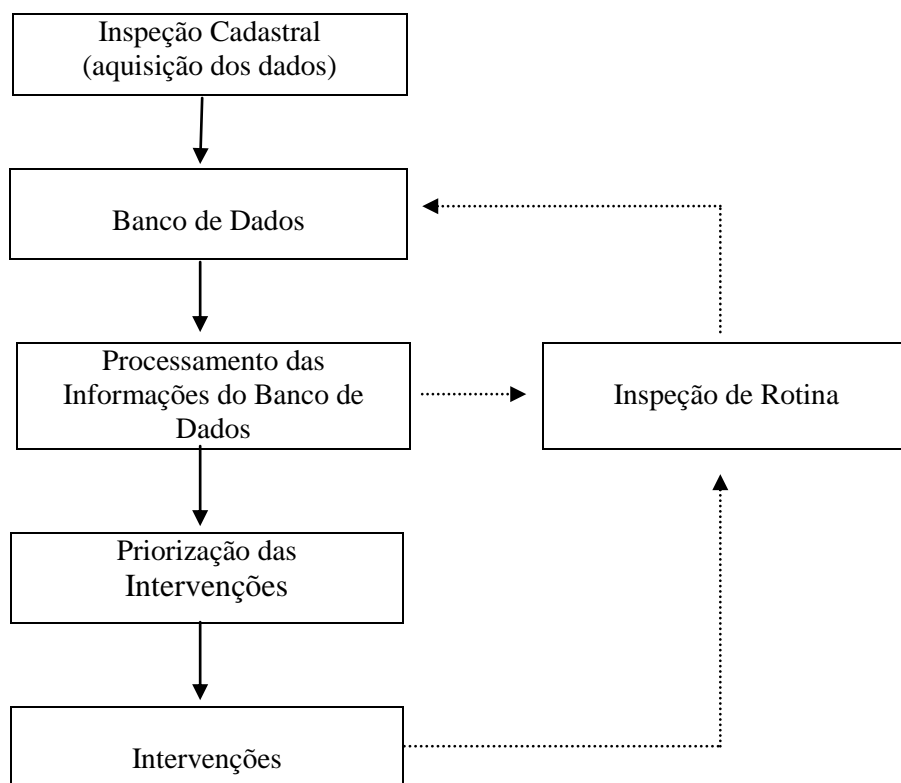
Os fundamentos teóricos contidos na revisão bibliográfica e os resultados obtidos nas análises estatísticas consolidaram as conclusões preliminares, baseadas na experiência adquirida ao longo das inspeções de galerias de águas pluviais de várias cidades. Estas informações formam um acervo técnico consistente, permitindo que este trabalho proponha diretrizes para implantação de planos de gestão patrimonial de drenagem urbana para serem adotados pelas administrações públicas ou concessionárias de serviços públicos, que tenham sob sua responsabilidade a manutenção de redes de macrodrenagem constituídas por galerias de águas pluviais e obras similares.

O objetivo das diretrizes é possibilitar que os interessados tenham ferramentas simples e práticas para monitorar suas redes de galerias, que normalmente sofrem um desgaste gradual ao longo do tempo, procurando agir de forma planejada e com ações preventivas, visando manter o patrimônio físico e antecipar as necessidades futuras, evitando as intervenções corretivas emergenciais, que normalmente acontecem quando é iminente o risco de acidentes, ou este já ocorreu, conforme mostrado na Figura 1.1.

O principal fundamento para a consolidação das práticas de uma gestão patrimonial de infraestrutura é a constituição e manutenção de um banco de dados adequado. Portanto, quanto maior o conhecimento dos sistemas de drenagens existentes, mais eficiente será a gestão. Para isto é preciso ter métodos para aquisição, memória e atualização das informações e funcionamento das redes de drenagem, os riscos e impactos da operação dos sistemas, planos de inspeção e programas de reabilitação.

### ***6.2 Etapas para elaboração dos planos de gestão patrimonial***

Este item descreve as principais atividades que envolvem cada uma das etapas para a elaboração dos planos de gestão patrimonial. Apresenta-se o fluxograma com o conjunto das etapas que devem ser desenvolvidas, observando que se trata de um processo contínuo, sempre realimentado, conforme Figura 6.1.



**FIGURA 6.1:** Fluxograma das etapas dos planos de gestão patrimonial

### 6.2.1 Inspeção cadastral

A primeira etapa para a implantação de um plano de gestão patrimonial eficiente é a geração de um banco de dados com as informações dos sistemas de drenagem. Como, de uma maneira geral, estas informações não são amplamente conhecidas, é preciso realizar uma inspeção inicial, denominada cadastral, com o objetivo de percorrer toda a rede de galerias de águas pluviais coletando e cadastrando todas as informações referentes às geometrias das estruturas e às manifestações patológicas existentes.

Conforme citado no Item 4.5 “Procedimentos de Segurança para a Realização das Inspeções”, trata-se de uma tarefa de risco, que necessita de inspetores qualificados e certificados para trabalhos em ambientes confinados de acordo com a Norma Brasileira NBR 14787/ 2001 – “Espaço confinado - Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção”, uma vez que as vistorias são feitas com as redes de drenagem em pleno funcionamento, sem desvios dos fluxos de água. Recomenda-se seguir as instruções de segurança apresentadas no Item 4.5, principalmente quanto ao uso das proteções individuais.

As inspeções são visuais e os vistoriadores devem utilizar trenas plásticas para realizar as medições de campo. As informações referentes aos perfis longitudinais e declividades devem

ser feitos por equipe de topografia, que normalmente não entra no interior das galerias, obtendo as medições pela abertura dos poços de visita. Em trechos onde não há este dispositivo, recomenda-se implantar janelas de inspeção a cada 200 metros, no máximo.

Devem ser criadas duas fichas, sendo uma para registro das informações da geometria da galeria e outra para cadastro das manifestações patológicas e interferências encontradas.

As fichas de geometria devem conter, no mínimo, as seguintes informações:

- data da inspeção;
- denominação da galeria;
- denominação da bacia;
- extensão da galeria;
- seção interna da galeria;
- profundidade da calha central, quando existir;
- perfil topográfico longitudinal da laje de fundo;
- declividade do perfil topográfico;
- classes de declividades:  
A (até 1%), B (1% a 3%), C (3% a 6%), D (6% a 10%) e E (acima de 10%);
- localização de degraus na laje de fundo e no teto;
- altura do espelho dos degraus;
- localização e extensão das rampas;
- documento fotográfico das principais informações.

Todas as vezes que houver qualquer alteração na seção interna do canal ou mudança de declividade, deve-se abrir outra ficha para o novo trecho. Para cada ficha de geometria deve haver uma correspondente para as manifestações patológicas, que deve conter, no mínimo, as seguintes informações:

- cadastramento das manifestações patológicas;
- medição da extensão das manifestações patológicas;
- avaliação da severidade das manifestações patológicas;
- cadastramento das interferências existentes;
- documento fotográfico das anomalias encontradas.

### **6.2.2 Constituição do banco de dados**

A próxima etapa do plano de gestão patrimonial é a constituição do banco de dados. Para isto devem ser utilizadas todas as informações coletadas na inspeção cadastral para que sejam geradas planilhas de dados referentes a cada uma das galerias inspecionadas. O conjunto destas planilhas formará o banco de dados que vai fundamentar as ações da gestão patrimonial. Portanto, quando mais corretas e confiáveis forem as informações, mais eficiente será a gestão.

Cada planilha deve reunir as informações obtidas nas fichas de geometria e nas fichas das manifestações patológicas. Informações complementares devem ser acrescentadas ao banco de dados, como por exemplo, a idade das galerias, nível de turbidez da água, tipos de sedimentos encontrados, entre outros.

Recomenda-se utilizar planilhas com o mesmo formato das que foram utilizadas para realizar os estudos estatísticos deste trabalho de pesquisa, conforme tabelas do Apêndice 1.

As planilhas, com as informações coletadas no campo, devem ser processadas em escritório por um setor de engenharia, quando os registros das manifestações patológicas devem ser novamente avaliados, para confirmar a caracterização, extensão e severidade das anomalias.

### **6.2.3 Processamento do banco de dados**

Neste item deve ser descrita a etapa relativa ao processamento das informações do banco de dados. Inicialmente é preciso caracterizar as manifestações patológicas, sendo recomendado seguir a mesma linha adotada neste trabalho de pesquisa, conforme mostrado ao longo da revisão bibliográfica, enquadrando-as como abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamentos e casuais. Evidente que outras anomalias podem surgir e devem ser incluídas no banco de dados, dependendo de cada caso.

A extensão das manifestações patológicas e interferências deve ser medida em metros quadrados. Algumas anomalias podem ser medidas em metros cúbicos, como os assoreamentos, mas o objetivo da medição é, a princípio, quantificar as áreas com manifestações patológicas.

Quanto à severidade dos danos, é preciso fazer uma avaliação de forma qualitativa utilizando uma classificação a partir de uma escala de riscos de acidentes aos usuários, conforme descrito a seguir.

### **Níveis de riscos**

Recomenda-se, da mesma forma que foi adotado nesta pesquisa, que a escala seja constituída por quatro níveis de impactos:

- **Nível 1- Risco nulo ou insignificante de acidentes**

Ausência de manifestações patológicas ou presença delas de forma irrelevante.

- **Nível 2 – Risco pequeno de acidentes**

Presença de manifestações patológicas localizadas, de pequena extensão e severidade.

- **Nível 3 – Risco médio de acidentes**

Presença de manifestações patológicas de média a grande extensão e severidade, sem risco de afetar a funcionalidade e/ou a estabilidade da estrutura.

- **Nível 4 – Risco severo de acidentes**

Presença de manifestações patológicas de média a grande extensão, de alta severidade, com risco de afetar a funcionalidade e/ou a estabilidade da estrutura.

### **Extensão**

O critério para caracterizar as extensões das manifestações patológicas pode variar, dependendo do caso. Recomenda-se que seja adotado o seguinte critério para definição da extensão dos trechos, referenciado à área interna da galeria abrangendo as paredes e lajes :

- Irrelevante: até 3% da área interna total do trecho;
- Pequena: 3% a 20% da área interna total do trecho;
- Média: 20% a 50% da área interna total do trecho;
- Grande: acima de 50% da área interna total do trecho.

## **Severidade**

O critério para definir as severidades das manifestações patológicas é bem mais subjetivo, pois depende da avaliação de cada engenheiro, da localização e extensão do trecho em estudo. Para a sua definição deve-se levar em consideração qual é a probabilidade daquela anomalia causar acidentes aos usuários, seja por uma inundação causada por um assoreamento que possa reduzir a capacidade de vazão, seja por uma falha na estrutura que possa levar ao colapso a galeria.

Finalmente, informações adicionais devem ser acrescentadas nas planilhas pelo setor de engenharia, como a idade de construção das galerias, o tipo de concreto utilizado na construção, entre outros.

### **6.2.4 Priorização das intervenções**

A próxima etapa a ser desenvolvida quando da implantação dos planos de gestão patrimonial de drenagem urbana é elaborar uma escala de prioridade para planejar as intervenções, sejam elas emergenciais ou de rotina. Para isto é preciso utilizar um método de auxílio à decisão para hierarquizar estas ações, de forma a identificar os trechos prioritários em função do estado de conservação das estruturas, utilizando para isto os indicadores de risco de impactos aos usuários.

Dentre as diversas metodologias de auxílio à decisão conhecidas, este trabalho propõe um método que se caracteriza pela simplicidade e facilidade de utilização, sem a necessidade de aquisição de *softwares*, de forma a viabilizar seu uso por parte dos interessados, muitas vezes carentes de recursos financeiros e humanos.

Conforme visto no item anterior, recomenda-se trabalhar com os quatro níveis de impactos que foram utilizados na pesquisa: Nível 1 (nulo ou insignificante), Nível 2 (pequeno impacto), Nível 3 (médio impacto) e Nível 4 (severo impacto). A estes níveis de impacto atribuem-se pesos que variam de 0 a 3, a saber: Nível 1 (0), Nível 2 (1), Nível 3 (2), Nível 4 (3).

## **Indicadores**

A metodologia proposta para auxiliar na tomada de decisão quanto à priorização das intervenções é constituída de dois indicadores. O primeiro é um indicador relacionado às ações de rotina (IR), enquanto o segundo é um indicador das ações emergenciais (IE).

O indicador IR é obtido através da média ponderada entre a extensão das manifestações patológicas e o nível de impacto. O indicador IE é obtido através da soma das extensões dos critérios com o Nível de Impacto 4.

Para que sejam feitas as análises deve-se levar em consideração as áreas percentuais das manifestações patológicas cadastradas e os quatro níveis de impactos e seus respectivos pesos.

As manifestações patológicas passam a ser os critérios da análise (C1 a C6), a saber:

- (C1) erosão por abrasão;
- (C2) erosão por cavitação;
- (C3) erosão por ataque químico;
- (C4) assoreamentos;
- (C5) manifestações patológicas casuais;
- (C6) ausência de manifestações patológicas.

Para realizar a análise referente ao indicador de ações de rotina (IR), baseada na média ponderada, deve ser feita a soma ponderada de todos os critérios de cada galeria, multiplicando-se a área de cada critério pelo peso correspondente ao seu nível de impacto, dividindo-se a soma total por 100. A hierarquização das ações é feita em função da maior pontuação alcançada.

Para a análise referente ao indicador de ações emergenciais (IE) deve ser feita a soma das áreas dos critérios que foram enquadrados somente com o Nível de Impacto 4 (severo), ou seja, considerando exclusivamente os grandes riscos aos usuários que, em geral, requerem ações emergenciais. A hierarquização das ações é feita em função da maior pontuação alcançada.

### **Aplicação dos Indicadores**

Para exemplificar a aplicação dos dois indicadores é apresentada uma situação hipotética, constituída por três galerias, cujas informações estão contidas nas Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3, com objetivo de priorizar as intervenções:

**Tabela 6.1:** Informações relativas à Galeria nº 1

<b>Manifestação Patológica</b>	<b>Critério</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Nível de impacto</b>	<b>Peso</b>
Erosão por abrasão	C1	10,0	3	2
Erosão por cavitação	C2	20,0	4	3
Erosão por ataque químico	C3	..	..	..
Assoreamento	C4	5,0	2	1
Casual	C5	1,5	2	1
Ausência de patologias	C6	63,5	1	0
Soma	..	100	..	..

**Tabela 6.2:** Informações relativas à Galeria nº 2

<b>Manifestação Patológica</b>	<b>Critério</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Nível de impacto</b>	<b>Peso</b>
Erosão por abrasão	C1	30,0	2	1
Erosão por cavitação	C2	5,0	4	3
Erosão por ataque químico	C3	12,5	3	2
Assoreamento	C4	2,0	2	1
Casual	C5	3,5	2	1
Ausência de patologias	C6	47,0	1	0
Soma	..	100	..	..

**Tabela 6.3:** Informações relativas à Galeria nº 3

<b>Manifestação Patológica</b>	<b>Critério</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Nível de impacto</b>	<b>Peso</b>
Erosão por abrasão	C1	62,0	3	2
Erosão por cavitação	C2	..	..	..
Erosão por ataque químico	C3	16,0	3	2
Assoreamento	C4	..	..	..
Casual	C5	1,0	2	1
Ausência de patologias	C6	21,0	1	0
Soma	..	100	..	..

Fazendo as análises, de acordo com o descrito anteriormente, tem-se:

- 1- Análise do indicador de ações de rotina (IR), considerando a média ponderada dos critérios:

$$\text{Galeria nº 1: IR} = (10 \times 2) + (20 \times 3) + (5 \times 1) + (1,5 \times 1) + (63,5 \times 0) / 100 = 0,86$$

$$\text{Galeria nº 2: IR} = (30 \times 1) + (5 \times 3) + (12,5 \times 2) + (2 \times 1) + (3,5 \times 1) + (47 \times 0) / 100 = 0,75$$

$$\text{Galeria nº 3: IR} = (62 \times 2) + (16 \times 2) + (1 \times 1) + (21 \times 0) / 100 = 1,57$$

- 2- Análise do indicador de ações emergenciais (IE), considerando a soma das áreas das manifestações patológicas com o Nível de Impacto 4:

$$\text{Galeria nº 1: IE} = 20$$

$$\text{Galeria nº 2: IE} = 5$$

$$\text{Galeria nº 3: IE} = 0$$

Pela média ponderada entre a extensão das manifestações patológicas e o peso do nível de impacto constata-se que a Galeria nº 3 obteve o maior IR (1,57), devendo ser priorizada no tocante ao indicador de ações de rotina. Mas, levando em consideração o indicador de ações emergenciais, quem alcançou o maior IE foi a Galeria nº1 (20), devendo ser priorizada quanto as ações emergenciais.

### **6.2.5 Intervenções nas galerias**

A próxima etapa do plano de gestão patrimonial é realizar as intervenções emergenciais ou de rotina, de acordo com os indicadores vistos no item anterior. Não é foco deste trabalho de pesquisa abordar as técnicas utilizadas para reabilitar as galerias de águas pluviais urbanas.

Como se trata de um tema interessante e pouco, ou quase nada, abordado na literatura, são apresentadas no Apêndice 2 do trabalho, de forma resumida, as principais técnicas adotadas nas intervenções para reabilitar as galerias deterioradas, tomando-se como base as obras de recuperação realizadas pela Prefeitura de Belo Horizonte, através da SUDECAP, sendo os projetos elaborados pela Recuperação Engenharia.

### **6.2.6 - Inspeções de rotina**

Conforme citado anteriormente, o principal fundamento para a consolidação de um plano de gestão patrimonial de infraestrutura é a constituição e manutenção de um banco de dados. Portanto, é muito importante manter atualizado o banco de dados referentes ao funcionamento e estado de conservação das redes de drenagem.

Para isto deve ser implantado um programa sistemático de inspeções de rotina nas redes de galerias, independentemente se as intervenções emergenciais ou de rotina foram realizadas.

As inspeções de rotina são feitas também utilizando o método visual, executadas por equipe com mesma qualificação técnica da inspeção cadastral. Os vistoriadores devem preencher os mesmos formulários, levando ao campo todas as informações já obtidas na inspeção cadastral, pois esta nova vistoria tem como objetivo principal avaliar e cadastrar o surgimento de novas anomalias, assim como verificar a evolução das manifestações patológicas conhecidas, principalmente no tocante à severidade e aos riscos de impacto aos usuários. Nas inspeções de rotina não são feitas as medições de geometria, pois elas são feitas na inspeção cadastral.

No caso das galerias que já sofreram intervenção de reabilitação, a inspeção de rotina é muito importante para avaliar a qualidade do trabalho realizado, verificando se as ações corretivas empregadas foram satisfatórias e adequadas, alimentando, assim, o banco de dados com informações sobre o desempenho dos materiais e das técnicas utilizadas, conhecimentos importantes para uma gestão patrimonial eficiente.

Outra função das inspeções de rotina é fiscalizar o lançamento de esgotos residenciais e industriais clandestinos, que contaminam os fluxos de água e interferem na durabilidade das estruturas de concreto. Os lançamentos indevidos devem ser localizados e os responsáveis acionados, de forma a coibir esta prática que é muito danosa às estruturas de concreto.

A periodicidade das inspeções de rotina deve ser definida em função do risco de deterioração das galerias: quanto maior for o risco, menor deve ser o intervalo entre as inspeções. Recomenda-se que a periodicidade deve variar entre 2 anos (intervalo mínimo) a 5 anos (intervalo máximo).

O principal parâmetro relacionado ao risco de deterioração é a classe de declividade da galeria, pois ficou comprovado que quanto maior for a declividade, maior é a extensão e a severidade das manifestações patológicas.

Mas outros quatro fatores também devem ser considerados como agravantes dos riscos de deterioração, contribuindo para a redução da durabilidade das estruturas de concreto, a saber:

- presença de contaminação por esgotos;
- galerias com mais de 20 anos de construção;
- presença de fatores de riscos (calhas, degraus e rampas);
- deficiência de qualidade do material utilizado na construção.

O conjunto dos agravantes citados será denominado neste capítulo como “indicadores de susceptibilidade”.

A periodicidade das inspeções de cada galeria é dada por uma matriz, apresentada na Tabela 6.4, onde devem ser lançadas duas informações referentes a ela: classe de declividade e o fator de susceptibilidade (FS).

O fator de susceptibilidade (FS) é um número, obtido através da somatória de pontos dos indicadores de susceptibilidade, sendo que cada indicador equivale a 1 ponto.

Desta forma, se uma galeria apresentar contaminação por esgotos, idade acima de 20 anos, concreto deficiente e um ou mais fatores de riscos (calhas, degraus ou rampas), ela terá um fator de susceptibilidade 4. Outro exemplo: uma galeria nova, com menos de 20 anos, que apresenta contaminação por esgotos e um fator de risco (degraus), terá um fator de susceptibilidade (FS) de 2.

O fator de susceptibilidade (FS) varia de 0 a 4, sendo que, à medida que ele aumenta, aumenta o risco de deterioração da galeria e, conseqüentemente, a necessidade de inspeção.

Na matriz da Tabela 6.4 é feito o cruzamento da classe de declividades da galeria com seu fator de susceptibilidade (FS). Por exemplo, uma galeria com classe de declividade C (3% a 6%) e fator de susceptibilidade (FS) 3 deverá ser inspecionada a cada 2 anos, enquanto outra com classe de declividade A (até 1%) e fator de susceptibilidade (FS) 1, deverá ser inspecionada a cada 5 anos.

**Tabela 6.4:** Matriz da periodicidade (classe de declividade x fator de susceptibilidade)

<b>Fator de susceptibilidade (FS)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Classe A</b> (até 1%)	5 anos	5 anos	4 anos	4 anos	3 anos
<b>Classe B</b> (1% a 3%)	5 anos	4 anos	4 anos	3 anos	2 anos
<b>Classe C</b> (3% a 6%)	4 anos	4 anos	3 anos	2 anos	2 anos
<b>Classe D</b> (6% a 10%)	4 anos	3 anos	3 anos	2 anos	2 anos
<b>Classe E</b> (acima de 10%)	3 anos	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos

### **6.3. Aplicação das diretrizes propostas nas 16 galerias da pesquisa**

Com vistas a explorar a aplicabilidade das diretrizes propostas neste trabalho para a elaboração de um plano de gestão patrimonial, será feita a aplicação das metodologias nas 16 galerias que participaram da pesquisa.

### **6.3.1. Construção e processamento das informações do banco de dado**

A Tabela 6.5 apresenta o quadro resumo com as principais informações referentes às 16 galerias da cidade de Belo Horizonte que foram selecionadas para participar da pesquisa, formando o banco de dados do trabalho. Como visto anteriormente, as informações do banco de dados foram obtidas através de inspeções na rede drenagem, devidamente registradas nas fichas de geometria e manifestações patológicas, conforme Anexo 6, apresentada em CD.

**Tabela 6.5** – Resumo das principais informações das 16 galerias da pesquisa

NOME GALERIA	(C1)		(C2)		(C3)		(C4)		(C5)		(C6)	
	Abrasão		Cavitação		Ataque Químico		Assoreamento		Manifestação patológica casual		Ausência de manifestação patológica	
	Área (%)	Impacto	Área (%)	Impacto	Área (%)	Impacto	Área (%)	Impacto	Área (%)	Impacto	Área (%)	Impacto
<b>Acaba Mundo</b>	4,4	4	0,31	4	3,07	3	0,01	2	0,14	2	92,07	1
<b>Coqueiros</b>	..	..	..	..	..	..	2,24	2	0,09	2	97,67	1
<b>Açudinho</b>	..	..	..	..	..	..	..	..	0,14	3	99,86	1
<b>Cardeal</b>	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	100,0	1
<b>Ivaí</b>	..	..	0,05	2	..	..	..	..	0,06	2	99,89	1
<b>Consul Cadar</b>	15,0	3	11,47	3	0,93	2	10,31	2	..	..	62,29	1
<b>Serra</b>	12,3	3	2,37	4	11,13	3	..	..	1,71	2	72,49	1
<b>Tijuco</b>	..	..	..	..	..	..	1,66	2	..	..	98,34	1
<b>Engenho Nogueira</b>	1,3	3	..	..	1,08	2	3,06	2	0,04	2	94,52	1
<b>Francisco Deslandes</b>	9,54	3	2,25	4	12,77	3	0,07	2	1,3	2	74,07	1
<b>Mem de Sá</b>	7,3	3	0,21	3	1,03	3	12,18	3	0,79	2	78,49	1
<b>Odilon Braga</b>	24,52	3	9,09	4	2,39	3	0,01	2	..	..	63,99	1
<b>Palmira</b>	10,0	2	5,04	4	7,38	3	0,13	2	0,41	2	77,04	1
<b>Pernambuco</b>	30,84	3	0,50	3	12,36	3	..	..	..	..	56,30	1
<b>Flor de Agua</b>	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	100,00	1
<b>Avai</b>	0,01	2	..	..	..	..	3,83	2	0,04	2	96,12	1

### 6.3.2 Priorização das intervenções

A Tabela 6.6 apresenta a ordem de prioridade das intervenções a partir dos indicadores das ações de rotina (IR) das 16 galerias da pesquisa, sendo que os resultados foram obtidos da média ponderada entre a extensão das manifestações patológicas e o peso referente ao nível de impacto, sendo a hierarquização feita em função da maior pontuação.

**Tabela 6.6** – Resultados dos indicadores das intervenções de rotina (IR)

<b>NOME DA GALERIA</b>	<b>Indicador das intervenções de rotina (IR)</b>	<b>Prioridade</b>
Acaba Mundo	0,204	8
Coqueiros	0,023	11
Açudinho	0,002	13
Cardeal	0,000	15
Ivaí	0,001	14
Consul Cadar	0,641	3
Serra	0,557	4
Tijuco	0,017	12
Engenho Nogueira	0,068	9
Francisco Deslandes	0,507	5
Mem de Sá	0,422	6
Odilon Braga	0,811	2
Palmira	0,404	7
Pernambuco	0,874	1
Flor de Agua	0,000	16
Avai	0,039	10

A Tabela 6.7 apresenta a ordem de prioridade das intervenções emergências a partir dos indicadores de emergência (IE) obtidos com a soma das extensões dos critérios com o Nível de Impacto 4.

**Tabela 6.7** – Resultados dos indicadores das intervenções emergenciais (IE)

<b>NOME DA GALERIA</b>	<b>Indicador das intervenções emergenciais (IE)</b>	<b>Prioridade</b>
Acaba Mundo	4,71	3
Serra	2,37	4
Francisco Deslandes	2,25	5
Odilon Braga	9,09	1
Palmira	5,04	2

Evidente que não foi levado em consideração os custos das intervenções, uma vez que foram analisados somente os aspectos referentes à extensão percentual das anomalias e as situações onde existem elevados riscos de acidentes com os usuários.

### 6.3.3 Planejamento das inspeções de rotina

A Tabela 6.8 apresenta o planejamento das inspeções de rotina para as 16 galerias que participaram da pesquisa utilizando a matriz de periodicidade da Tabela 6.4.

Para cada galeria é indicada a classe agressividade, mas como todas as galerias possuem mais de uma, considerou-se a classe mais recorrente. Na tabela está marcada com “X” a presença dos indicadores de susceptibilidade. Assim está indicada a presença de esgotos, as galerias consideradas velhas (mais de 20 anos), a deficiência de qualidade do material empregado na construção e a presença de pelo menos um dos fatores de risco (calha, degrau, rampa). O fator de susceptibilidade (FS) é a soma dos indicadores de susceptibilidade, que vale 1 ponto cada. O período da inspeção, em anos, deve ser visto como prazo máximo para realizar este trabalho.

**Tabela 6.8 – Planejamento das inspeções de rotina das 16 galerias**

<b>NOME DA GALERIA</b>	<b>Classe de declividade</b>	<b>Presença de Esgoto</b>	<b>Idade + 20 anos</b>	<b>Deficiência de qualidade</b>	<b>Fator de risco</b>	<b>FS</b>	<b>Período da inspeção</b>
Acaba Mundo	D	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Coqueiros	C	X	X	..	..	2	<b>3</b>
Açudinho	C	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Cardeal	C	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Ivaí	D	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Consul Cadar	B	X	..	..	..	1	<b>4</b>
Serra	C	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Tijuco	D	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Engenho N.	D	X	X	..	X	3	<b>2</b>
F.Deslandes	C	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Mem de Sá	C	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Odilon Braga	B	X	..	..	X	2	<b>4</b>
Palmira	C	X	X	..	..	2	<b>3</b>
Pernambuco	C	X	X	..	..	2	<b>3</b>
Flor de Agua	D	X	X	..	X	3	<b>2</b>
Avai	D	X	X	..	X	3	<b>2</b>

## **6.4 Considerações**

A metodologia proposta para a implantação um plano de gestão patrimonial das galerias de águas pluviais, e obras similares, é de fácil aplicação, sem a necessidade de adquirir *softwares*, bastando a utilização de planilhas em *Excel*, de uso corrente. Evidente que os gestores destes planos podem optar por programas mais sofisticados disponíveis no mercado, como por exemplo, ACCESS da Microsoft.

Finalmente, cabe ressaltar que a Prefeitura de Belo Horizonte, quando do término desta pesquisa, já havia realizado as intervenções de reabilitação de todas as galerias da cidade que apresentavam trechos com manifestações patológicas com Nível de Impacto 4, várias delas documentadas por fotos neste trabalho. Além disto, mantém um programa de inspeções de rotina em sua rede galerias de águas pluviais.

## **7- Diretrizes para a elaboração de projetos de galerias de águas pluviais urbanas**

Neste capítulo serão apresentadas as diretrizes para a elaboração de projetos de galerias de águas pluviais urbanas, e obras similares, fundamentadas nos conhecimentos adquiridos na revisão bibliográfica do trabalho, nos resultados das investigações estatísticas e, principalmente, na experiência prática.

Conforme abordado no item 3.4 “Exigências para durabilidade das estruturas de concreto” constata-se que as diretrizes quanto as variáveis hidráulicas do escoamento inseridas no Caderno de Encargos da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, tomado como referência nacional devido ao pioneirismo da cidade na área de gestão de drenagem, estão bem mais detalhadas do que aquelas voltadas à durabilidade do concreto, sendo que a única recomendação complementar feita neste sentido, visando aumentar a qualidade das estruturas, refere-se ao cobrimento das armaduras.

Entende-se que as recomendações feitas para a qualidade do concreto são insuficientes para garantir a sua durabilidade, precisando de muitos complementos para que as estruturas *“conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”*, conforme citação da NBR 6118/2007.

Um dos objetivos gerais deste trabalho é aproveitar todos os conhecimentos adquiridos ao longo da pesquisa para propor diretrizes para a elaboração de projetos de novas galerias, procurando acrescentar informações consistentes que possam complementar e ajustar as exigências contidas nas Normas Brasileiras e nos Cadernos de Encargos e/ou documentos similares, colaborando assim com o aumento da qualidade e durabilidade das estruturas de concreto das galerias de águas pluviais urbanas.

Em linhas gerais este trabalho recomenda que para projetar as galerias de águas pluviais urbanas com concreto de maior qualidade e durabilidade deve-se atuar em duas vias: melhorar a qualidade do concreto e eliminar os fatores que provocam as manifestações patológicas.

### **7.1- Características do concreto empregado atualmente**

Após a análise de vários projetos feitos recentemente no Brasil para verificar se as exigências quanto à durabilidade do concreto estão sendo seguidas, constatou-se que as galerias de águas pluviais urbanas estão sendo enquadradas como Classe de Agressividade II (agressividade

moderada, área urbana, pequeno risco de deterioração). Como visto, esta prática é errônea e não atende às recomendações da Norma. Ela compromete a durabilidade das estruturas de concreto por que não está sendo levada em consideração a contaminação química dos fluxos das galerias de águas pluviais urbanas por esgotos residenciais e efluentes industriais.

O que diferencia a agressividade do ambiente de uma galeria de águas pluviais urbanas das demais galerias de águas pluviais, como por exemplo, aquelas localizadas em rodovias, é a contaminação da água por esgotos e efluentes, uma prática proibida, mas muito recorrente nas cidades do Brasil, fazendo com que as estruturas fiquem expostas a “ambientes quimicamente agressivos”, conforme citação da Norma Brasileira 6118/2007.

Os projetistas e os seus contratantes, de uma maneira geral, não estão se atentando para a importância do teor da Nota nº 3 da Figura 3.28. Acredita-se que esta falha está acontecendo por dois motivos. Em primeiro lugar devido ao desconhecimento da agressividade química provocada pela contaminação dos fluxos das galerias das águas pluviais urbanas e as suas consequências nas estruturas de concreto. Em segundo lugar devido a erros de interpretação da Norma, que deveria ser mais explícita quanto a este assunto, uma vez que a exigência quanto à classificação desta agressividade ambiental é indicada somente em nota, geralmente desprezada e não lida.

Foram observados que os projetos atuais estão especificando concreto com  $f_{ck} \geq 25$  MPa (Classe C25) e relação água/cimento  $\leq 0,60$ , sendo que o recomendado por Norma é concreto  $f_{ck} \geq 40$  MPa (Classe C40) e relação água/cimento  $\leq 0,45$ .

De acordo com descrito na Nota nº3 da Figura 3.30, as estruturas enquadradas na Classe IV devem ter um cobrimento mínimo das armaduras de 4,5 cm. Como nos projetos atuais as estruturas estão sendo classificadas na Classe II, observa-se que o cobrimento das armaduras atualmente indicado é de 3,0 cm, muito aquém do que deveria ser.

Em função do exposto recomenda-se que as estruturas de concreto das galerias de águas pluviais urbanas, sujeitas à contaminação química por esgotos residenciais e efluentes industriais, sejam sempre enquadradas na Classe IV (agressividade muito forte, elevado risco de deterioração), conforme exigência da Norma.

Devem ser enquadradas na Classe II somente as galerias construídas em áreas rurais, utilizadas para coletar águas das chuvas, em geral sem contaminação química relevante. Dentro da mesma classe podem ser projetadas as galerias de águas pluviais urbanas, desde que o projetista

tenha certeza que não há contaminação do fluxo, o que, na prática, é uma situação muito difícil de encontrar no Brasil atualmente.

Ressalta-se que a NBR 6118 é relativamente recente, entrando em vigor em 2003, com revisão em 2007, precisando ser mais enfática em alguns pontos, como os citados anteriormente, para evitar erros de interpretação quanto às classes de agressividade, pois estas falhas, com certeza, estão interferindo negativamente na durabilidade das estruturas de concreto.

Evidente que as características exigidas pela Norma para os concretos das estruturas enquadradas na Classe IV possuem uma qualidade muito superior às empregadas nas construções mais velhas, principalmente aquelas galerias que foram alvo da pesquisa, que foram projetadas com concreto de resistência de 15 MPa.

Mesmo sendo um concreto de elevado padrão, entende-se que a qualidade do concreto exigida pela Norma para a Classe IV ainda não é suficiente para resistir às maiores adversidades, como aquelas presentes nas regiões com rampas e degraus das galerias urbanas.

Esta afirmação se fundamenta em observações feitas em algumas intervenções realizadas pela Prefeitura de Belo Horizonte para reabilitar trechos de galerias deterioradas, quando foram recuperadas áreas severamente afetadas por abrasão, cavitação e ataques químicos. Para recuperar estas áreas foi utilizado um concreto com resistência à compressão de 50 MPa, fator água/cimento de 0,40 e o cobrimento das armaduras de 5,0 cm. Em inspeções de rotina realizadas 10 anos após as intervenções, constatou-se o bom desempenho do material, mas já é possível observar o início do processo de desgaste superficial nas lajes de fundo, indicando que nas situações mais adversas, a durabilidade do material empregado não é muito superior a 10 anos, mesmo tendo a qualidade superior ao preconizado na Norma.

## ***7.2 Diretrizes de projeto quanto às características do concreto***

Em função do exposto anteriormente, este item apresenta as recomendações de projeto quanto às características do concreto a ser empregado nas estruturas das galerias de águas pluviais urbanas.

Para as lajes de fundo das galerias projetadas sem a presença de degraus e rampas deve ser especificado um concreto de acordo com as exigências preconizadas pela Norma para a Classe de Agressividade IV:  $f_{ck} \geq 40$  MPa; fator água/cimento  $\leq 0,45$ ; cobrimento  $\geq 4,5$  cm.

As lajes de fundo das galerias com degraus e rampas devem ser projetadas com concreto com qualidade superior ao preconizado na Norma Brasileira NBR-6118/2007, devendo ser indicado a resistência à compressão mínima de 50 MPa, fator água/cimento máximo de 0,40 e o cobrimento das armaduras de no mínimo 5,0 cm.

Para aumentar a compacidade do concreto e reduzir a sua permeabilidade, incrementando conseqüentemente a sua durabilidade, deve ser especificado nos projetos que o concreto contenha em sua composição adições (sílica ativa ou metacaulim). Além disto, deve ser utilizado um cimento mais resistente aos ataques químicos, sendo que o mais indicado é o CP III-40 RS (cimento de alto-forno, feito com alto teor de escória, resistentes aos sulfatos).

Como os desgastes das lajes de fundo ocorrem a partir das superfícies em contato com os fluxos, é importante que os agregados graúdos, que ocupam cerca de 70 a 80% do volume do concreto, possuam mais dureza, pois eles ficarão expostos após a remoção da camada superficial de argamassa. Assim devem ser especificado o uso de britas do tipo granito e basalto, evitando as pedras calcárias, que possuem menor dureza e maior índice de desgaste medido pelo ensaio NBR NM 0051:96 – Agregado Graúdo – Ensaio de Abrasão Los Angeles.

As paredes das galerias, nos trechos projetados sem a presença de degraus e rampas, devem ter um concreto especificado conforme a NBR 6118/2007, Classe IV, ou seja, resistência à compressão de no mínimo 40 MPa, o fator água/cimento de no máximo 0,45 e o cobrimento das armaduras de no mínimo 4,5 cm.

O concreto das paredes nos trechos que possuem degraus e rampas, portanto, com áreas sujeitas aos maiores desgastes, deve ser projetado com qualidade superior, tendo resistência à compressão mínima de 50 MPa, fator água/cimento máximo de 0,40 e cobrimento das armaduras de no mínimo 5,0 cm.

Para as duas situações acima, permanecem as recomendações quanto ao uso de adições, cimento mais resistente aos ataques químicos e agregados com maior dureza.

Quanto ao concreto das lajes de teto, ele deve ter as características exigidas na NBR 6118/2007, Classe IV, ou seja, resistência à compressão de no mínimo 40 MPa, o fator água/cimento de no máximo 0,45 e o cobrimento das armaduras de no mínimo 4,5 cm, dosado também com adições e cimento mais resistente aos ataques químicos.

A face inferior das lajes de teto deve ser protegida por um revestimento para aumentar a resistência aos ataques químicos provocados pela liberação de gás sulfídrico. Diversos produtos podem ser utilizados como barreira química, sendo recomendada uma pintura com tinta a base de asfalto devido ao seu baixo custo e facilidade de aplicação.

A corrosão da armadura é diretamente facilitada pela permeabilidade do concreto, ou seja, quanto mais poroso for o concreto mais susceptível estará a estrutura a este tipo de deterioração. A espessura de cobrimento adequado ao meio no qual a estrutura estiver inserida tem também papel fundamental na boa qualidade do concreto. Uma das falhas construtivas mais recorrentes no interior das galerias de águas pluviais é a deficiência de espessura da camada de cobrimento das armaduras na face inferior das lajes de teto. Portanto, os projetos devem destacar também a obrigatoriedade de se obedecer ao cobrimento das armaduras que foi especificado.

### ***7.3- Diretrizes quanto aos fatores de deterioração do concreto***

Apesar das calhas serem interessantes do ponto de vista hidráulico, pois facilitam o transporte das partículas sólidas evitando os assoreamentos, ficou evidenciado na pesquisa que as calhas são nocivas para a durabilidade das estruturas, devendo ser eliminadas dos projetos por provocarem severas manifestações patológicas como a abrasão (concentração dos sedimentos no centro da laje de fundo) e o ataque químico (aumento da turbulência do fluxo). Foi evidenciada também a relação entre a profundidade da calha e a severidade das anomalias, principalmente a abrasão.

A eliminação das calhas é, a princípio, possível, sem maiores problemas. O mesmo não acontece com os degraus e as rampas, principalmente quando localizados em regiões mais íngremes.

Vários são os motivos que recomendam que os degraus e as rampas sejam evitados nos projetos, particularmente os degraus, onde as manifestações patológicas são mais severas. Conforme visto no trabalho, a presença de degraus nas galerias com médias e altas declividades provocam aumento da abrasão (maior impacto dos sedimentos na superfície do concreto), cavitação (formação das bolhas de vapor por causa da mudança da direção do fluxo) e ataque químico (liberação de gás sulfídrico com a turbulência do fluxo).

Uma opção é substituir os degraus por rampas, uma vez que estas causam danos nas estruturas com menor severidade, ressaltando que as rampas aumentam a velocidade do fluxo, o que pode causar outros problemas, principalmente a jusante da rede de drenagem.

Nos trechos onde não for possível evitar os degraus e as rampas, se recomenda, pelo menos, que as estruturas de concreto sejam projetadas com materiais mais resistentes, conforme visto anteriormente.

A presença de sólidos nos fluxos de água, principalmente se eles forem muito abrasivos, causam sérios danos nas estruturas se a qualidade do concreto não for adequada. Recomenda-se, sempre que possível, projetar uma bacia de decantação de sedimentos a montante das galerias para minimizar a presença dos sólidos no interior da rede de drenagem, reduzindo a abrasão e a formação de assoreamentos. Ressalta-se que estas bacias, para serem eficientes, precisam contar com a presença constante de um equipamento, tipo escavadeira, retirando regularmente os sedimentos decantados e colocando-os em caminhões para serem levados para um bota-fora.

Para melhorar o comportamento hidráulico das galerias, aumentando a velocidade dos fluxos de água, deve-se reduzir o atrito nas superfícies das lajes de fundo e paredes através da melhoria da rugosidade do concreto. Isto é importante para o funcionamento das galerias, mas os projetos, em geral, não fazem nenhuma menção a este importante detalhe nas especificações construtivas. Para atingir este objetivo é preciso deixar a superfície lisa através de um bom acabamento superficial.

#### **7.4 Considerações**

A constatação que os projetistas de estruturas de concreto não estão enquadrando as galerias de águas pluviais urbanas na Classe de Agressividade IV é muito preocupante, pois a diferença de qualidade entre o que está sendo projetado/executado e o exigido pela Norma é enorme. Espera-se que as informações contidas neste capítulo contribuam para mostrar o equívoco que os projetistas e seus contratantes estão cometendo.

Evidente que enquadrar uma estrutura em uma classe de agressividade mais elevada implica em aumento nos custos de construção. Entretanto deve-se assegurar o cumprimento da Norma vigente, possibilitando a durabilidade adequada e reduzindo os custos operacionais a médio prazo.

Outra situação que precisa melhorar é a falta de detalhamentos e especificações dos projetos, que, de um modo geral se restringem a fornecer a planta de forma e armação da estrutura, a resistência do concreto e os cobrimentos. É muito importante, que além dos dados acima, sejam fornecidas também as informações referentes à durabilidade do concreto, como a relação água/cimento, o tipo de cimento, o tipo de agregados, as adições, detalhes construtivos, etc.

Apesar da reação álcali-agregado ser uma preocupação nas estruturas hidráulicas de concreto, principalmente devido à presença constante da umidade, não foram encontradas evidências da existência desta manifestação patológica nas estruturas das galerias de águas pluviais inspecionadas. Mas é muito importante que se faça o teste de reatividade dos agregados antes do início da construção de qualquer estrutura de concreto, particularmente as obras hidráulicas, como as galerias de águas pluviais.

## **8- Conclusões Finais**

### **8.1- Conclusões**

Conforme visto ao longo da pesquisa, os estudos envolvendo as manifestações patológicas nas galerias de águas pluviais urbanas são complexos, com muitas limitações para se conseguir informações confiáveis, tendo muitas fontes de variabilidade. Apesar de todas as dificuldades e incertezas inerentes, foram obtidas conclusões importantes.

Ficou comprovada a ligação entre as características técnicas e operacionais das galerias com o surgimento e a evolução das manifestações patológicas. As análises preliminares feitas durante as inspeções de campo foram fundamentadas na revisão bibliográfica e consolidadas nas investigações estatísticas.

Os degraus e as rampas das galerias são características geradoras de manifestações patológicas severas, como a abrasão (aumento do impacto dos sólidos na superfície do concreto), a cavitação (aumento da velocidade dos fluxos criando as bolhas de vapor) e os ataques químicos (aumento da turbulência de fluxos com contaminação química causando a corrosão biogênica devido à liberação de gás sulfídrico).

As calhas também são geradoras de manifestações patológicas relevantes como a abrasão (concentração dos sólidos no centro da laje de fundo) e o ataque químico (aumento de turbulência do fluxo contaminado).

Ficou evidenciada a associação da idade das galerias com o surgimento das manifestações patológicas.

Foi confirmada a associação das classes de declividades das galerias com o surgimento das manifestações patológicas. As declividades baixas influenciam a formação de assoreamentos, enquanto as declividades médias e altas são responsáveis pelo aparecimento da abrasão, cavitação e ataque químico, uma vez que, quanto maior a declividade, maior a presença de degraus e rampas que causam as manifestações patológicas.

Apesar da existência de vários trechos com severos níveis de impacto, somente 15% da área interna da amostragem utilizada na pesquisa apresentaram manifestações patológicas relevantes, constatando-se que, no geral, não são processos de deterioração uniformes, mas localizados e relacionados à presença de fatores de degradação como os degraus, calhas e

rampas. Ressalta-se que a idade média da amostragem é de 35 anos e que 90% da extensão das galerias possuem declividades variando entre 0% a 6%.

A presença de contaminação química nos fluxos de água, por causa da presença de esgotos residenciais e efluentes industriais lançados de forma clandestina, mostrou ser muito danosa às estruturas de concreto, causando severas deteriorações devido ao ataque de sulfatos e corrosão biogênica.

Com base nas relações estabelecidas foi possível propor diretrizes para a implantação de planos de gestão patrimonial. São ferramentas simples que poderão ser muito úteis no planejamento de ações preventivas, antecipando necessidades futuras. Para isto é fundamental constituir um banco de dados confiável, obtido em inspeções cadastrais, e priorizar as intervenções utilizando indicadores de ações de rotina ou emergenciais. O banco de dados deve ser sempre realimentado através da implantação de um programa sistemático de inspeções de rotina na rede de drenagem, cuja periodicidade depende das declividades e do fator de susceptibilidade, como proposto no quadro do presente trabalho.

Em relação às diretrizes para novos projetos, foi proposto aumentar a durabilidade das estruturas de concreto das galerias atuando em duas vias: eliminando e/ou minimizando os fatores que provocam a degradação e melhorando a qualidade do concreto.

Foi recomendada a eliminação das calhas, enquanto os degraus e as rampas devem ser evitados ao máximo, por serem características geradoras de severas manifestações patológicas. Foi recomendado também projetar uma bacia de decantação de sedimentos para reduzir a presença dos sólidos no interior da rede de drenagem, evitando os assoreamentos.

A partir das constatações obtidas neste trabalho, pode-se presumir, tanto do ponto de vista amostral, quanto das entrevistas realizadas, que os projetos realizados no Brasil não estão seguindo as recomendações contidas NBR 6118/2007, que preconiza que as estruturas expostas a ambientes quimicamente agressivos devem ser enquadrados na Classe de Agressividade IV (agressividade muito forte, elevado risco de deterioração), uma vez que as galerias estão sendo classificadas na Classe de Agressividade II (agressividade moderada, área urbana, pequeno risco de deterioração). Portanto, de uma maneira geral, não está sendo levada em consideração a contaminação, que de fato existe, nos fluxos das galerias de águas pluviais urbanas. Como consequência disto, estão sendo feitos projetos com concretos tendo resistências, relação água/cimento e cobrimentos das armaduras inadequados, causando prejuízo na durabilidade das obras.

## **8.2- Recomendações para trabalhos futuros**

Ao findar o trabalho constatou-se que algumas áreas podem ser exploradas em futuras pesquisas. A presença de degraus no interior das galerias é um fator gerador de manifestações patológicas, como a abrasão, cavitação e o ataque químico. Como a cavitação é a manifestação patológica que causa os danos mais severos nas galerias de águas pluviais urbanas, seria muito interessante realizar em laboratório uma pesquisa científica específica para aprofundar os conhecimentos em relação ao surgimento e a evolução da cavitação na região dos degraus. Trata-se de um fenômeno complexo, pouco estudado, que merece atenção dos pesquisadores, uma vez que algumas questões ainda ficaram sem respostas, mas que podem ser esclarecidas se as pesquisas forem realizadas em laboratório, em condições controladas, bem diferentes das condições desfavoráveis em que foram obtidas as informações da pesquisa.

Falta esclarecer, entre outras questões, se a cavitação em degraus é mais intensa nas baixas ou nas altas vazões, se há ressalto hidráulico nesta região, qual o melhor material para enfrentar e resistir a este fenômeno e a possível associação com dissipadores em degraus.

Recomenda-se também pesquisar mais profundamente a influência dos degraus na liberação dos sulfetos nas galerias de águas pluviais urbanas. Nesta região há um aumento da turbulência dos fluxos de água contaminada por esgotos, ocorrendo um maior desprendimento do gás sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), causando deterioração nas galerias por ataque químico, principalmente nas lajes de teto. Esta situação está descrita na literatura e foi observada nas inspeções de campo, mas não foi confirmada nas análises estatísticas da pesquisa e nos ensaios de campo feitos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Para confirmar a influência dos degraus na liberação dos sulfetos dissolvidos nas águas das galerias é preciso realizar novos ensaios químicos, envolvendo trabalhos de campo e laboratório, utilizando uma ampla amostragem, medindo-se novamente as quantidades de sulfetos antes e depois de um degrau para verificar a perda para o ar.

Outro aspecto que pode ser explorado em futuras pesquisas é a influência dos sedimentos hidrotransportados na formação da abrasão e dos assoreamentos, através da caracterização físico-química dos materiais e avaliação dos impactos nas estruturas das galerias.

Recomenda-se fazer um estudo comparativo entre as resistências à compressão do concreto das galerias com o surgimento das manifestações patológicas.

Finalmente, uma das metas do trabalho era tentar desenvolver um programa ou modelo matemático para previsão de vida útil das galerias de concreto. Mas os resultados indicaram que as manifestações patológicas são, em geral, deteriorações localizadas devido à presença de algum fator degradante. Todas estas situações tornam o estudo de previsão de vida útil muito complexo em função da dificuldade de se achar um modelo matemático que possa englobar todos os casos, saindo do objetivo geral da pesquisa. Mas o tema é bastante desafiador, devendo ser explorado em novas pesquisas, podendo, neste caso, ser adotada uma abordagem grega ao assunto, contrapondo, um pouco, à filosofia babilônica que norteou o presente trabalho.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J.E. Patologias que comprometem a durabilidade do concreto em galerias de águas pluviais. In Anais do 42º Congresso Brasileiro do Concreto, Fort. (CE), 15p, 2000.

AGUIAR, J.E. Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. 172p., 2006.

AGUIAR, J.E.; BAPTISTA, M.B. Estudo das patologias de concreto das galerias de águas pluviais de Belo Horizonte. Campo Grande MS XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 20p., 2009.

AGUIAR, J.E.; BAPTISTA, M. Concrete structures erosions of urbans stormwater channels, Ibracon Structures and Materials Journal, Volume 4, Number 1, p.070-09, março de 2011.

AÏTCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. Tradução de Geraldo G. Serra. São Paulo: Editora Pini. 667p., 2000.

ALMEIDA, I. R. Concretos de alto desempenho IBRACON, Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, Vol II, Capítulo 38, pp.1159-1194, 2005.

ALMEIDA, I. R. Influência da resistência à abrasão do agregado graúdo na resistência à abrasão de concretos de alto desempenho. Congresso Brasileiro do Concreto. Ceará. Fortaleza: IBRACON. 123p., 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS *ASTM C.1260*: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method), 2001.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 318- 02 – Building Code Requirements For Structural Concrete, 2002.

ANDRADE, C. Manual para diagnóstico de estruturas deterioradas por corrosão das armaduras. Editora PINI. 104p., 1992.

ANDRADE, T. Tópicos sobre durabilidade do concreto, IBRACON, Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, Vol I, Capítulo 25, pp.753-792, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NM NBR 0051/1996 Agregado graúdo – Ensaio de Abrasão dos Angeles.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 6118/2007- Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 14787/2001- Espaço confinado – Prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 15396/2006 Aduelas ( galerias celulares) de concreto armado pré-fabricadas – requisitos e métodos de ensaios.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 15577/2008 Agregados – reatividade álcali-agregados.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR15645/2009 Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando-se tubos e aduelas de concreto.

BAPTISTA, M., LARA, M., Fundamentos de Engenharia Hidráulica, Escola de Engenharia da UFMG, Editora UFMG, p. 425, 2002.

BARRETO, Abílio. Resumo Histórico de Belo Horizonte (1701–1947). Imprensa Oficial, Belo Horizonte, 42p.,1947.

BATTAGIN, I., NETO, A., SBRIGHI, C., Reação Álcali-Agregado – A Nova Norma Técnica Brasileira. *Anais. 50º Congresso Brasileiro do Concreto. Ibracon/BA*, p.18, 2008.

BESTEIRO, A. *et al.*, Utilização do método AHP para traçar, como ferramenta para o auxílio a decisão de um candidato, a escolha de um curso de engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, p. 11, 2009.

BORSARI, R. D. A cavitação por irregularidade de superfície e a areação como forma de prevenção. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo. 246p., 1986.

BRITISH STANDARD BS 7973:2001 Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification. Product Performance Requirements, 2001.

BRITO, A., Universidade Federal de Campina Grande, Curso de Especialização de gestão Ambiental, p. 63, 2005.

CANOVAS, M. F. Patologia e terapia do concreto armado. Editora Pini. 522p., 1988.

CASCUDO, O. Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras. IBRACON, Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, Vol II, Capítulo 35, pp.1071-1108, 2005.

CHAMPS, J.R.B, PEREZ, S.T.C. O Planejamento do sistema de drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte. IX-011- 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa. 8p., 2001.

COLOMBO, C Universidade Tecnológica Federal do Paraná ,Departamento de Química e Biologia, Disciplina: Análise de contaminantes ambientais, s/data.

DAL MOLIN, D.C.C. Adições minerais para concreto estrutural. In: Geraldo Isaia (Org) Concreto Ensino, Pesquisa e Realizações – IBRACON, Vol. 1, p.345-379, 2005.

DALFRÉ FILHO, J.G. Desenvolvimento de equipamento para avaliação de erosão por cavitação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Estadual de Campinas, São Paulo. 97p., 2002.

DALFRÉ FILHO, J.G; GENOVEZ, A.I.B. Métodos para avaliação do desgaste em amostras de concreto submetidas à abrasão e à cavitação. *Ingeneria Del Água - Vol 11 N°4.* pp. 389-396, 2004.

DEAN, A.G. *et al.* Epi Info™, Version 6.04a, A word processing, database, and statistics program for public health on IBM-compatible microcomputers. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention, July 1996.

EMMONS, P.H. *Concrete Repair and Maintenance Illustrated.* R.S. Means Company. 295p., 1993.

FERRARI, S. L. P. ; CRIBARI NETO, F. , Beta Regression for Modelling Rates and Proportions. *Journal of Applied Statistics, Inglaterra, v. 31, n. 7, p. 799-815, 2004.*

FIDJESTOL, P. (Coord.) *Guide for the Use of Silica Fume in Concrete.* American Concrete Institute ACI 234 R-06. 63p., 2006.

FIGUEIRA, J., GRECO,S., EHRGOTT, M., *Multiple Criteria Decision Analysis: State of The Art Surveys, Springer's Internacional Series, Operations Research Management Science, p. 1062, 2005.*

FIGUERÔA, J., TIBERIO, A. O ataque da Reação Álcali Agregado sobre as estruturas de Concreto: a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de pontes e edifícios na Região Metropolitana do Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 228, 2007.

FINATEC - Práticas gerenciais, operacionais e de projeto no campo do manejo de Águas Pluviais Urbanas. Disponível em [www.vsites.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/NURECO/arg/.../PDDU.pdf](http://www.vsites.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/NURECO/arg/.../PDDU.pdf). 2007.

FORSTER, S.W. (Coord.) *Report on Alkali-Aggregate Reactivity.* American Concrete Institute ACI 221. 1 R-98. 31p., 1998.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO – Panorama de Belo Horizonte – Atlas Histórico. 98p., 1997.

GARDNER, M. "[Calculating confidence intervals for relative risks \(odds ratios\) and standardised ratios and rates](#)", *British Medical Journal*, p. 1313–1316, 1998.

GEBLER, S.H. (Coord.) *Guide to Curing Concrete.* American Concrete Institute ACI 308-R 01. 31p., 2001.

GILLESPIE, H. A. (Coord.) *Use of Epoxy Compounds With Concrete.* American Concrete Institute ACI 503 R-93. 28p., 1998.

GOLDSTEIN, H., HEALEY, M. "[The graphical presentation of a collection of means.](#)" *Journal of the Royal Statistical Society*, p. 175-77., 1995.

GRAHAM, J.R. (Coord.) *Erosion of Concrete in Hydraulic Structures.* American Concrete Institute ACI 210R-93. 23p., 2000.

GUGLIELMETTI, F., MARINS, F., SALOMON, V, Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios, XXIII Encontro Nac. de Eng. De Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, P.16, 2003.

HASPARYK, N., Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS, p.323, 2005.

HELENE, P. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. Editora PIN., 213p., 1992.

HOPE, B. B. (Coord.) Design and Construction Practices to Mitigate Corrosion of Reinforced in Concrete Structures. American Concrete Institute ACI 222.3 R-03, 2003.

HOPE, B. B. (Coord.) Protection of Metals in Concrete Against Corrosion. American Concrete Institute ACI 222-01. 41p., 2001.

HUFFMAN, M. (Coord.) Use of Fly Ash in Concrete. American Concrete Institute ACI 232.2 R-03. 41p. 2003.

HUTTLE, R. Biogenic Sulphuric Acid Corrosion – Corrosion Protection Systems Materialprüfungsanstalt Berlin – Disponível em [www.mpa.de](http://www.mpa.de).

JENSEN, H., Hydrogen sulfide induced concrete corrosion of sewer networks, Tese de Doutorado, Aalborg University, Dinamarca, p.67, 2009.

JORNAL ESTADO DE MINAS – Encarte BH 100 Anos – Nossa História. P. 119, 1996.

KAZMIERCZAK, C. S. Proteção superficial do Concreto. IBRACON, Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, Vol II, Capítulo 29, pp.879-900, 2005.

KORMANN, A.C. *et al.* Processos erosivos em superfícies de concreto de barragens – mecanismo e recuperação XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Fortaleza/CE. 11p., 2001.

KORMANN, A.C.M. Estudo do desempenho de quatro tipos de materiais para reparo a serem utilizados em superfícies erodidas de concreto de barragens. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Paraná. 196p., 2002.

KUPERMAN, S. *et al.* Ocorrência da Reação Álcali-Agregado em Tomada D'água. Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estrutura de Concreto. Anais. Comitê Brasileiro de Barragens, Furnas Centrais Elétricas. Goiânia, p. 213-222, 1997.

LATORRE, P. Estudo de argamassas para reparos de estruturas de concreto sujeitas a abrasão, em locais com umidade elevada. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, p.68, 2002.

LEONARDO, C.R.T. Estudo de concreto de alto desempenho visando a aplicação em reparos estruturais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Paraná. 132p., 2002.

LIMA, M. G.. Ação do Meio Ambiente sobre as estruturas de concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. Vol.1, cap 24, pp.713-751, 2005.

MACINNIS, C. (Coord.) Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service. American Concrete Institute ACI 201.1 R-92. 16p., 1997.

McCALL, W.C. (Coord.) Specifications for Structural Concrete. American Concrete Institute ACI 301-05. 49p., 2005.

McDONALD, J. E. An Evaluation of Materials for Repair of Erosion Damage in Hydraulic Structures. HPMS&S High-Performance Materials and Systems Reserch Program. Disponível em [www.wes.army.mil/SL/HPMS/hpms.htm](http://www.wes.army.mil/SL/HPMS/hpms.htm). p.10., 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3ª edição. São Paulo: Pini. 673p., 2008.

MENDIS, P. (Coord.) Guide for the Application of Epoxy and Latex Adhesives for Bonding Freshly Mixed and Hardened Concretes. American Concrete Institute ACI 503 6R-97. 4p., 2003.

METELKA, T., SVITAK, Z. Rehabilitation strategies in wastewater networks as combination of operational, property and model information, Republica Theca, NOVATECH, 10p., 2010.

MILLER, D. S. Internal flow systems. British Hydromechanics Research Association - Fluid engineering, Vol. 5. 290p. 1984.

MLODINOW, L., O arco-íris de Feynman, p.169, Nova Iorque, NY, EUA, 2005.

MURRAY, M.A. (Coord.) Guide to Underwater Repair of Concrete. American Concrete Institute ACI 546 2R-98. 24p., 1998.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 2ª edição. Tradução de Salvador Giamusso. São Paulo: Pini. 737p., 1997.

NIELSEN, A *et al.*, Recent findings on sinks for sulfide in gravity sewer networks. Water Sci. Technol. 52, 201–208, 2006.

NIELSEN, A, VOLLERTSEN, J., JENSEN, H.S., Aerobic and anaerobic transformations of sulfide in a sewer system: field study and model simulations. Water Environment Research 80(1), pp.16-25, 2008.

NIXON, R., Understanding corrosion protection and prevention needs – CSO and Sewerage Conveyance Tunnel Design –NACE INTERNATIONAL, Texas, U.S.A, p.64, 2010.

O'NEILL, R. C. *et al.* Guide to a Durable Concrete. American Concrete Institute ACI 201. 2 R-01. 41p., 1997.

OKABE, S. *et al*, Succession of Sulfur-Oxidizing Bacteria in the Microbial Community on Corroding Concrete in Sewer Systems. *Applied and Environmental Microbiology*, p. 971-980, Vol. 73, No. 3, 2007.

PAES, A.T. *Análise univariada e multivariada*, Einstein: Educ Contin Saúde, p 1-2, agosto, 2010.

PAUL, J.H. (Coord.) *Concrete Repair Guide*. American Concrete Institute ACI 546 R-04. 53p. 2004.

PDD-BH. *Plano Diretor de Drenagem*. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. 2001.

PMPA. *Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre- Implantação de Ações Previstas*, 2000.

PORTELLA, K. F.; KORMANN, A. C. M. *Metodologia executiva e pesquisa de materiais para execução de reparos em estruturas de concreto (aparentes e submersas) de barragens*. Curitiba: LACTEC. 176p., 2001.

PRISZKULNIK, S. *Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto afetadas pelas reações cimento-agregado*. IBRACON, *Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações*, Vol II, Capítulo 34, pp.1017-1070, 2005.

QUINTELA, A. C.; RAMOS, C. M. *Proteção contra a erosão de cavitação em obras hidráulicas*. Memória nº 539. Lisboa: LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 73p., 1980.

R – PROJECT FOR STATISTICAL COMPUTING , disponível em <http://www.r-project.org/>

RECUPERAÇÃO ENGENHARIA – Projeto de recuperação das estruturas de concreto da galeria da Av. Francisco Deslandes – SUDECAP. 45p., 2008.

RERAU - *Projet National: Réhabilitation des réseaux d'assainissement urbains; Gestion Patrimoniale des Réseaux d'Assainissement Urbains- Guide Méthodologique*, 415p., 2005.

REVISTA TÉCNICA, disponível em <http://www.revistatechne.com.br/techne>, Abril de 2010.

SALOMON, V, *Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios da análise do planejamento e controle da produção*, Tese de Doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 122, 2004.

SCANLON, J.M. (Coord.) *Practices for Evaluation of Concrete in Existing Massive Structures for Service Conditions*. American Concrete Institute ACI 207. 3 R-94. 16p., 1997.

SILVA, M.R. *Biodeterioração do concreto*. IBRACON, *Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações*, Vol II, Capítulo 28, pp.587-878, 2005.

SINNIGER, R.O., HAGER, W.H. *Constructions Hydrauliques: Écoulements stationnaires*. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, p.439, 1989.

SONG, H., SARASWATHY, V. Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structure – A Review. *Internacional Journal of Electrochemical Science*, p.28, disponível em [www.electrochemsci.org](http://www.electrochemsci.org), 2007.

STEFANI, A., ARB, A.C. Água em ambientes Urbanos – Escola Politécnica de São Paulo - Seminário. *Gestão da Drenagem Urbana*. PHD 2537. 21p., 2005.

TATRO, S.B. (Coord.) Compendium of Case Histories on Repair of Erosion-Damage Concrete in Hydraulic Structures. American Concrete Institute ACI 210.1 R-94. 33p., 2000.

TERRA, Portal <http://noticias.terra.com.br/brasil/transito/noticias/22/12/2010>.

TRAN, H.D. Investigation of Deterioration Model For Stormwater Pipe Systems, School of Architectural, Civil and Mechanical Engineering, Victoria University, Australia. 187p., 2007.

TRIOLA, Mario F. Introdução à estatística. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 7 nº 1 Jan/ Mar 2002, pp.5-27, 2002.

TULLIS, J.P. Hydraulic of pipelines - pumps, valves, cavitation, transients. A Wiley Interscience Publication, 266p, 1989.

VAUGHN, O., Understanding Biogenic Sulfide Corrosion. *Materials Performance*. pp.36 – 39, 2007.

VIRTUAL CAD NOTÍCIAS. [http://www.virtualcad.com.br/.../00\\_01\\_plano\\_geral.html](http://www.virtualcad.com.br/.../00_01_plano_geral.html). 1996.

WALTERS, D.G. (Coord.) Guide for Polymer Concrete Overlays. American Concrete Institute ACI 548.5R-94. 26p., 1998.

WARGO, G. R. (Coord.) Guide for Concrete Inspection. American Concrete Institute ACI 311.4 R-05. 13p. 2005.

ZHANG, L. *et al.*, Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: A review; Ghent University. *Water Research* 42, 1 – 12, Belgica, 2008.

**Apêndice 1 – Tabelas com as informações referentes às 16 galerias da pesquisa.**

**Tabela A1.1.** Informações Referentes à Galeria do Coqueiros (Onça)

Galeria Córrego Coqueiros (Onça)																							
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5		
													Abrasão		Cavitação		Ataq.Quím.		Assoreamento		Casual		
													Área (m²)	Nível Impacto	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	
1	2,8 x 2,0	2,80	2,00	-	50,00	140,00	340,00	480,00	1,2	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
2	2,8 x 2,0	2,80	2,00	-	99,00	277,20	673,20	950,40	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2	
3	2,8 x 2,0	2,80	2,00	-	97,00	271,60	659,60	931,20	1,1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2	
4	2,8 x 2,0	2,80	2,00	-	102,00	285,60	693,60	979,20	0,7	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
5	2,8 x 2,0	2,80	2,00	-	100,00	280,00	680,00	960,00	1,1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9	3	
6	3,7 x 2,0	2,80	2,00	-	2,50	7,00	17,00	24,00	1,1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
7	3,7 x 2,0	3,70	2,00	-	97,50	360,75	750,75	1111,50	1,4	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2	
8	3,7 x 2,0	3,70	2,00	-	104,00	384,80	800,80	1185,60	1,4	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2	
9	3,7 x 2,0	3,70	2,00	-	91,00	336,70	700,70	1037,40	1,2	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
10	3,7 x 2,0	3,70	2,00	-	98,00	362,60	754,60	1117,20	1,3	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
11	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	3,50	15,75	29,75	45,50	1,3	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
12	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	93,50	420,75	794,75	1215,50	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
13	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	98,00	441,00	833,00	1274,00	0,9	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2,5	2	
14	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	108,00	486,00	918,00	1404,00	0,7	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
15	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	71,00	319,50	603,50	923,00	0,7	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2,5	2	
16	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	130,00	585,00	1105,00	1690,00	4,9	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2,5	2	
17	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	105,00	472,50	892,50	1365,00	3,4	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
18	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	97,50	438,75	828,75	1267,50	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
19	4,5 x 2,0	4,50	2,00	-	119,00	535,50	1011,50	1547,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1,5	2	
20	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	84,00	403,20	739,20	1142,40	0,5	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
21	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	96,50	463,20	849,20	1312,40	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1,5	2	
22	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	147,00	705,60	1293,60	1999,20	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	614,4	2	5	3	3	
23	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	153,00	734,40	1346,40	2080,80	0,7	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
24	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	135,00	648,00	1188,00	1836,00	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
25	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	156,00	748,80	1372,80	2121,60	0,9	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
26	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	109,00	523,20	959,20	1482,40	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
27	4,8 x 2,0	4,80	2,00	-	20,50	98,40	180,40	278,80	0,4	A	..	..	..	..	..	..	..	98,4	..	..	..	..	
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>2567,50</b>	<b>10745,80</b>	<b>21015,80</b>	31761,60	..	..	..	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>712,8</b>	..	<b>28,5</b>	..	
Critérios %													0,0%	..	0,00%	..	0,00%	..	2,24%	..	0,09%	..	..

Informações Complementares	
Época da Construção	1986
Informação Hidráulica	Interferência com tubos de grande diâmetro no interior do canal
Turbidez da água	nível 1
Tipo de Sedimentos	matéria orgânica ( pouca)
Outros	..

**Tabela A1.2. Informações Referentes à Galeria Av. Francisco Deslandes (Arrudas)**

Galeria Córrego Av. Francisco Deslandes (Arrudas)																											
Trecho	Seção	Largura	Altura	Calha	Extensão	Área	Área m <sup>2</sup>		Área	Declividade	Classe	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5					
							Seção	da Seção						m <sup>2</sup> Piso	Parede+Teto	total	de Declividade	Abrasão		Cavitação		Ataq. Quím.		Assoreamento		Casual	
																		Área (m <sup>2</sup> )	Nível Impa.	Área (m <sup>2</sup> )	NI	Área (m <sup>2</sup> )	NI	Área (m <sup>2</sup> )	NI	Área (m <sup>2</sup> )	NI
1	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	22,00	26,40	105,60	132,00	15,3	E	5	..	..	..	..	..	..	9,6	2	..	..						
2	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	65,00	78,00	312,00	390,00	16,6	E	19	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
3	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	64,60	77,52	310,08	387,60	2,4	B	2	..	..	..	..	..	..	..	..	4	2						
4	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	59,80	71,76	287,04	358,80	3,3	C	4	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
5	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	60,20	72,24	288,96	361,20	5,1	C	2	..	..	..	..	..	..	..	..	2	2						
6	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	59,00	70,80	283,20	354,00	3,5	C	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
7	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	60,00	72,00	288,00	360,00	8,8	D	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
8	1,2 x 1,8 x 0,15	1,20	1,80	0,15	61,00	73,20	292,80	366,00	3,7	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
9	1,6 x 2,2 x 0,4	1,60	2,20	0,40	87,50	140,00	525,00	665,00	3,6	C	2	2	..	..	1	3	..	..	..	..	..						
10	1,6 x 2,2 x 0,4	1,60	2,20	0,40	59,50	95,20	357,00	452,20	2,5	B	..	1	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
11	1,6 x 2,2 x 0,4	1,60	2,20	0,40	62,50	100,00	375,00	475,00	5,2	C	..	3	..	..	4	3	..	..	..	..	..						
12	1,6 x 2,2 x 0,4	1,60	2,20	0,40	17,00	27,20	102,00	129,20	5,2	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
13	1,6 x 2,2 x 0,4	1,60	2,20	0,40	26,50	42,40	159,00	201,40	4,7	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
14	1,2 x 1,7 x 0,3	1,20	1,70	0,30	59,50	71,40	273,70	345,10	4,7	C	..	3	..	..	3	3	..	..	..	..	..						
15	1,2 x 1,7 x 0,3	1,20	1,70	0,30	9,30	11,16	42,78	53,94	3,3	C	..	..	..	..	1	3	..	..	..	..	..						
16	2,0 x 1,9 x 0,2	2,00	1,90	0,20	52,70	105,40	305,66	411,06	3,3	C	..	3	..	..	3	4	..	..	..	..	..						
17	2,0 x 1,9 x 0,2	2,00	1,90	0,20	63,60	127,20	368,88	496,08	2,9	B	..	2	22,26	3	10	4	127,2	2	..	..	..						
18	2,0 x 1,9 x 0,2	2,00	1,90	0,20	14,00	28,00	81,20	109,20	0,7	A	..	..	1,5	3	..	..	..	..	..	1	2						
19	2,0 x 1,9 x 0,2	2,00	1,90	0,20	50,50	101,00	292,90	393,90	7,1	D	..	4	35	3	4	4	70	2	..	..	..						
20	2,0 x 1,9 x 0,2	2,00	1,90	0,20	69,00	138,00	400,20	538,20	3	B	..	1	108,8	3	13,6	4	136	3	..	..	..						
21	2,0 x 1,9 x 0,2	2,00	1,90	0,20	32,00	64,00	185,60	249,60	4,3	C	..	1	28,8	3	51,2	4	64	3	..	..	..						
22	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	34,70	79,81	239,43	319,24	2	B	1	..	40	3	67	4	69,4	..	..	..	..						
23	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	150,40	345,92	1037,76	1383,68	1,7	B	..	7	276	3	79	4	310,5	3	..	..	..						
24	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	19,00	43,70	131,10	174,80	8,9	D	..	..	52,44	3	..	..	55,2	3	..	..	..						
25	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	35,00	80,50	241,50	322,00	2,5	B	..	1	74,4	3	16,1	3	80,5	3	..	..	..						
26	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	28,50	65,55	196,65	262,20	1	A	..	..	72,1	3	..	..	65,5	2	..	..	1						
27	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	33,40	76,82	230,46	307,28	0,2	A	..	1	76,8	3	..	..	76,8	2	..	..	2						
28	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	59,30	136,39	409,17	545,56	0,3	A	..	4	65,48	3	30	4	136,4	3	..	..	4						
29	2,3 x 2,3 x 0,4	2,30	2,30	0,40	41,50	95,45	286,35	381,80	1,2	B	..	1	98,45	3	2	4	95,45	3	..	..	4						
30	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	31,50	81,90	239,40	321,30	3,4	C	..	1	49	3	4	4	81,9	3	..	..	4						
31	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	11,50	29,90	87,40	117,30	8,6	D	2	..	29,9	3	..	..	29,9	3	..	..	..						
32	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	24,00	62,40	182,40	244,80	1,2	B	..	..	..	..	6	3	..	..	..	6	2						
33	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	45,00	117,00	342,00	459,00	0,2	A	..	..	124	3	4	4	103,5	3	..	..	..						
34	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	18,00	46,80	136,80	183,60	0,5	A	..	..	46,8	3	..	..	..	..	..	90	2						
35	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	6,00	15,60	45,60	61,20	1,6	B	..	..	5	3	..	..	15,6	2	..	..	15						
36	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	14,00	36,40	106,40	142,80	1,4	B	..	..	12	3	..	..	36,4	2	..	..	35						
37	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	35,00	91,00	266,00	357,00	1,7	B	..	..	30	3	..	..	91	..	..	..	..						
38	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	19,20	49,92	145,92	195,84	3,6	C	..	1	17	3	..	..	49,9	3	..	..	4						
39	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	22,00	57,20	167,20	224,40	0,9	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
40	2,6 x 2,5	2,60	2,50	-	3,80	9,88	28,88	38,76	2,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..						
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>1687,00</b>	<b>3115,02</b>	<b>10157,02</b>	<b>13272,04</b>	..	..	..	..	..	<b>1265,73</b>	..	<b>298,9</b>	..	<b>1695,15</b>	..	<b>9,6</b>	..	<b>172</b>					
<b>Crítérios %</b>	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	9,54%	..	2,25%	..	12,77%	..	0,07%	..	1,30%					

Informações Complementares	
Época da Construção	1976
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 3
Tipo de Sedimentos	Argila (muita) + matéria orgânica
Outros	Presença de espuma de produtos químicos na água, que pode ter incrementado a abrasão

**Tabela A1.3.** Informações Referentes à Galeria Av. Mem de Sá

Galeria Córrego Av. Mem de Sá (Arrudas)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasão		Cavitação		Ataq.Quím.		Assoreamento		Casual	
													Área (m²)	Nível Impac.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI
1	1,8 x 1,75	1,80	1,75	-	23,15	41,67	122,70	164,37	10,3	E	..	..	..	..	..	..	..	41,67	2	3	2	
2	1,8 x 1,75	1,80	1,75	-	60,20	108,36	319,06	427,42	3,4	C	..	..	2	2	1,5	3	..	..	108,36	2	4	2
3	1,8 x 1,75	1,80	1,75	-	89,40	160,92	473,82	634,74	12	E	..	..	123	3	..	..	..	..	160,92	2	7,5	2
4	1,8 x 1,75	1,80	1,75	-	44,60	80,28	236,38	316,66	5,9	C	..	..	71	3	..	..	..	..	..	..	7	2
5	2,0 x 1,8 x 0,3	2,00	1,80	0,30	68,60	137,20	384,16	521,36	5,9	C	..	..	114	3	..	..	..	..	..	..	9	2
6	2,0 x 1,8 x 0,3	2,00	1,80	0,30	60,00	120,00	336,00	456,00	2,6	B	..	..	110	3	..	..	..	..	..	..	..	..
7	2,0 x 1,8 x 0,3	2,00	1,80	0,30	58,00	116,00	324,80	440,80	7,2	D	..	..	115	3	..	..	..	..	..	..	..	..
8	2,0 x 1,8 x 0,3	2,00	1,80	0,30	39,70	79,40	222,32	301,72	6,8	D	..	..	80	3	..	..	..	..	..	..	..	..
9	2,0 x 1,8 x 0,3	2,00	1,80	0,30	84,70	169,40	474,32	643,72	0,2	A	..	..	151,5	3	..	..	..	..	..	..	8,5	2
10	2,0 x 1,8 x 0,3	2,00	1,80	0,30	79,60	159,20	445,76	604,96	4,8	C	..	..	41	3	1	3	..	..	..	..	..	..
11	2,0 x 1,8 x 0,3	2,00	1,80	0,30	37,00	74,00	207,20	281,20	3,9	C	..	1	88	3	..	..	2	3	..	..	..	..
12	2,6 x 1,8 x 0,3	2,60	1,80	0,30	77,30	200,98	479,26	680,24	3,9	C	1	..	185,52	3	..	..	154,6	3	15	3	6	2
13	2,6 x 1,8 x 0,3	2,60	1,80	0,30	156,00	405,60	967,20	1372,80	4	C	7	..	405,6	3	40,4	4	65	2	405,6	3	4	2
14	2,6 x 1,8 x 0,35	2,60	1,80	0,35	74,50	193,70	461,90	655,60	4	C	1	..	7	2	2,5	3	..	..	193,7	3	8,5	2
15	2,6 x 1,6 x 0,35	2,60	1,60	0,35	3,70	9,62	21,46	31,08	4	C	..	..	..	..	..	..	..	..	9,6	3	..	..
16	2,6 x 1,6 x 0,35	2,60	1,60	0,35	16,70	43,42	96,86	140,28	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	43,42	3	..	..
17	2,6 x 1,6 x 0,35	2,60	1,60	0,35	148,80	386,88	863,04	1249,92	2,6	B	7	..	40	2	..	..	..	..	386,88	3	39	2
18	2,6 x 1,6 x 0,35	2,60	1,60	0,35	3,00	7,80	17,40	25,20	4,2	C	..	..	..	..	..	..	..	..	17,4	3	..	..
19	4,0 x 2,15 x 0,6	4,00	2,15	0,60	68,10	272,40	565,23	837,63	4,2	C	6	..	6	2	..	..	..	..	96,75	3	11	2
20	4,0 x 2,15 x 0,6	4,00	2,15	0,60	200,90	803,60	1667,47	2471,07	1,9	B	5	..	8	2	..	..	..	..	803,6	3	12	2
21	3,6 x 2,15 x 0,5	3,60	2,15	0,50	6,00	21,60	47,40	69,00	1,9	B	..	..	6	2	..	..	..	..	21,6	3	16	3
22	3,6 x 2,15 x 0,5	3,60	2,15	0,50	183,70	661,32	1451,23	2112,55	1,9	B	4	..	..	..	..	..	..	..	324	3	..	..
23	4,0 x 2,10 x 0,6	4,00	2,10	0,60	77,70	310,80	637,14	947,94	0,6	A	..	..	4	2	..	..	..	..	..	..	10,5	2
24	4,0 x 2,10 x 0,6	4,00	2,10	0,60	125,00	500,00	1025,00	1525,00	0,8	A	1	..	4,5	2	..	..	..	..	..	..	6	2
25	4,0 x 2,10 x 0,6	4,00	2,10	0,60	84,50	338,00	692,90	1030,90	1,5	B	1	..	4,5	2	..	..	..	..	..	..	13	2
26	4,0 x 2,10 x 0,6	4,00	2,10	0,60	61,50	246,00	504,30	750,30	1,4	B	1	..	2	2	..	..	..	..	..	..	4	..
27	4,0 x 2,10 x 0,6	4,00	2,10	0,60	102,00	408,00	836,40	1244,40	1,2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
28	4,0 x 2,10 x 0,6	4,00	2,10	0,60	3,00	12,00	24,60	36,60	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
29	4,3 x 3,0	4,30	3,00	-	15,00	64,50	154,50	219,00	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2	3
30	4,5 x 2,3 x 0,55	4,50	2,30	0,55	7,00	31,50	63,70	95,20	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
31	5,0 x 2,3 x 0,55	5,00	2,30	0,55	88,30	441,50	847,68	1289,18	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>2147,65</b>	<b>6605,65</b>	<b>14971,19</b>	<b>21576,84</b>	..	..	..	..	<b>1568,62</b>	..	<b>45,4</b>	..	<b>221,6</b>	..	<b>2628,5</b>	..	<b>171</b>	..
Critérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	7,3%	..	0,21%	..	1,03%	..	12,18%	..	0,79%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1990
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 1
Tipo de Sedimentos	Areia ( muito pouca)
Outros	Presença de forte descarga de agua da COPASA

**Tabela A1.4.** Informações Referentes à Galeria Av. Cônsul Antônio Cadar (Arrudas)

**Galeria Córrego Av. Cônsul Antônio Cadar (Arrudas)**

Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasão		Cavitação		Ataq.Quím.		Assoreamento		Casual	
													Área (m²)	Nível Impac.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI
1	2,4 x 2,6 x 0,3	2,40	2,60	0,30	124,70	299,28	947,72	1247,00	1,2	B	2	..	147,7	3	34	3	40	2	192	2	..	..
2	2,4 x 2,6 x 0,3	2,40	2,60	0,30	66,00	158,40	501,60	660,00	3,1	C	4	..	72	3	122,4	3	40	2	..	..	..	..
3	2,4 x 2,6 x 0,3	2,40	2,60	0,30	127,00	304,80	965,20	1270,00	4	C	7	..	55,2	3	353,6	3	7,2	2	..	..	..	..
4	2,4 x 2,6 x 0,3	2,40	2,60	0,30	118,00	283,20	896,80	1180,00	4,1	C	7	..	12	3	384,2	3	..	..	..	..	..	..
5	2,4 x 2,6 x 0,3	2,40	2,60	0,30	89,00	213,60	676,40	890,00	2,9	B	..	..	189,6	3	34	3	10	2	..	..	..	..
6	2,4 x 2,6 x 0,3	2,40	2,60	0,30	2,00	4,80	15,20	20,00	2,9	B	..	..	4,8	3	..	..	..	..	..	..	..	..
7	2,4 x 2,6	2,40	2,60	-	50,00	120,00	380,00	500,00	4,4	C	3	..	9,6	3	156,4	3	..	..	..	..	..	..
8	2,4 x 2,6	2,40	2,60	-	473,00	1135,20	3594,80	4730,00	3	B	7	..	1086,2	3	119	4	..	..	890,4	2	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>1049,70</b>	<b>2519,28</b>	<b>7977,72</b>	10497,00	..	..	..	..	<b>1577,1</b>	..	<b>1203,6</b>	..	<b>97,2</b>	..	<b>1082,4</b>	..	<b>0</b>	..
Critérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	15,0%	..	11,47%	..	0,93%	..	10,31%	..	0,00%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1967
Informação Hidráulica	Na região dos degraus, que há patologia em altas vazões
Turbidez da água	Nível 1
Tipo de Sedimentos	Areia + matéria orgânica (pouca)
Outros	Presença de espuma de produtos químicos na água, que pode ter incrementado a abrasão

**Tabela A1.5.** Informações Referentes à Galeria Flor d'água (Onça)

Galeria Córrego Flor d'água (Onça)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Area m² Piso	Area m² Parede +Teto	Area total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasão		Cavitação		Ataq.Químico		Assoreamento		Casual	
													Area (m²)	Nível Imp.	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI
1	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	9,00	16,20	48,60	64,80	5,5	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	423,50	762,30	2286,90	3049,20	2,5	B	1	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	66,20	119,16	357,48	476,64	4	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	113,80	204,84	614,52	819,36	7,6	D	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
9	4,4 x 2,5	4,40	2,50	-	61,00	268,40	573,40	841,80	0,3	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>673,50</b>	<b>1370,90</b>	<b>3880,90</b>	5251,80	..	..	..	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..
Critérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,0%	..	0,00%	..	0,00%	..	0,00%	..	0,00%	..

Informações Complementares	
Época da Construção	1985
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 1
Tipo de Sedimentos	matéria orgânica (pouca)
Outros	..

**Tabela A1.6.** Informações Referentes à Galeria Av. Cardeal (Onça)

Galeria Córrego Av. Cardeal (Onça)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Area m² Piso	Area m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasão		Cavitação		Ataq.Químico		Assoreamento		Casual	
													Area (m²)	Nível Impac.	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI
1	1,7 x 2,0	1,70	2,00	-	75,00	127,50	427,50	555,00	0,4	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	1,7 x 2,0	1,70	2,00	-	89,00	151,30	507,30	658,60	2,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3	1,7 x 2,0	1,70	2,00	-	56,50	96,05	322,05	418,10	1,9	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	1,7 x 2,0	1,70	2,00	-	45,00	76,50	256,50	333,00	3,6	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5	3,0 x 2,7	3,00	2,70	-	20,00	60,00	168,00	228,00	3,6	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	3,0 x 2,9	3,00	2,90	-	82,00	246,00	721,60	967,60	3,6	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	3,0 x 2,9	3,00	2,90	-	90,40	271,20	795,52	1066,72	0,1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	3,0 x 2,9	3,00	2,90	-	105,00	315,00	924,00	1239,00	1,8	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>562,90</b>	<b>1343,55</b>	<b>4122,47</b>	<b>5466,02</b>	..	..	..	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..
Critérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,0%	..	0,00%	..	0,00%	..	0,00%	..	0,00%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1988
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 2
Tipo de Sedimentos	matéria orgânica (pouca)
Outros	..

**Tabla A1.7.** Informações Referentes à Galeria Rua Palmira (Arrudas)

**Galeria Córrego Rua Palmira (Arrudas)**

Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Area m² Piso	Area m² Parede+Teto	Area total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasião		Cavitação		Ataq.Químico		Assoreamento		Casual	
													Area (m²)	Nível Impac.	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI
1	1,5 x 1,5	1,50	1,50	-	21,00	31,50	94,50	126,00	1,9	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	1,5 x 1,6 x 0,1	1,50	1,60	0,10	53,50	80,25	251,45	331,70	0,9	A	..	..	4	2	..	..	..	..	..	..	9	2
3	1,5 x 1,6 x 0,1	1,50	1,60	0,10	34,00	51,00	159,80	210,80	2,3	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	4	2
4	1,5 x 1,6 x 0,1	1,50	1,60	0,10	48,00	72,00	225,60	297,60	8,8	D	9	..	48	2	10	3	..	..	..	..	2	2
5	1,6 x 1,6 x 0,1	1,60	1,60	0,10	46,00	73,60	220,80	294,40	8,8	D	6	..	46	2	4	3	..	..	8	2	..	..
6	1,6 x 1,6 x 0,1	1,60	1,60	0,10	77,00	123,20	369,60	492,80	7,6	D	10	..	77	2	14	3	2	2	..	..	4	..
7	1,6 x 1,6 x 0,1	1,60	1,60	0,10	41,00	65,60	196,80	262,40	1,7	B	1	..	41	2	2	4	1	2	..	..	2	2
8	1,6 x 1,6 x 0,1	1,60	1,60	0,10	2,50	4,00	12,00	16,00	2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
9	1,85 x 2,0 x 0,2	1,85	2,00	0,20	67,00	123,95	391,95	515,90	2	B	..	..	67	2	2	3	3	2	..	..	2	2
10	1,85 x 2,0 x 0,2	1,85	2,00	0,20	71,00	131,35	415,35	546,70	1,4	B	1	..	71	2	2	3	..	..	..	..	..	..
11	1,8 x 2,0 x 0,2	1,80	2,00	0,20	55,00	99,00	319,00	418,00	1,8	B	1	..	55	2	1	3	3	2	..	..	1	2
12	1,8 x 2,0 x 0,2	1,80	2,00	0,20	1,20	2,16	6,96	9,12	1,5	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
13	1,6 x 1,8 x 0,2	1,60	1,80	0,20	42,60	68,16	221,52	289,68	1,5	B	..	..	..	..	14	4	..	..	..	..	..	..
14	1,6 x 1,8 x 0,2	1,60	1,80	0,20	67,00	107,20	348,40	455,60	3,1	C	8	..	67	2	4	3	4	3	..	..	1	3
15	1,6 x 1,8 x 0,2	1,60	1,80	0,20	54,00	86,40	280,80	367,20	8,3	D	11	..	..	..	43,2	4	86,4	3	..	..	..	..
16	1,6 x 1,8 x 0,2	1,60	1,80	0,20	59,40	95,04	308,88	403,92	8,9	D	..	6	..	..	104	4	104	3	..	..	..	..
17	1,6 x 1,8 x 0,2	1,60	1,80	0,20	5,60	8,96	29,12	38,08	8,9	D	..	..	..	..	4	3	8,96	3	..	..	..	..
18	1,55 x 1,9	1,55	1,90	-	42,00	65,10	224,70	289,80	10,7	E	..	5	33,6	3	33,6	3	67,2	3	..	..	..	..
19	1,55 x 1,9	1,55	1,90	-	50,00	77,50	267,50	345,00	12	E	1	5	65,28	3	16,32	4	81,6	3	..	..	..	..
20	1,55 x 1,9	1,55	1,90	-	57,00	88,35	304,95	393,30	12	E	..	5	35,84	3	53,7	4	89,6	3	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>894,80</b>	<b>1454,32</b>	<b>4649,68</b>	6104,00	..	..	..	..	<b>610,72</b>	..	<b>307,82</b>	..	<b>450,76</b>	..	<b>8</b>	..	<b>25</b>	..
Crítérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	10,0%	..	5,04%	..	7,38%	..	0,13%	..	0,41%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1971
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 3
Tipo de Sedimentos	Areia + materia organica (pouca)
Outros	Presença de espuma na agua

**Tabela A1.8. Informações Referentes à Galeria Av. Ivai (Onça)**

Galeria Córrego Av. Ivai (Onça)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasião		Cavitação		Ataq.Químico		Assoreamento		Casual	
													Área (m²)	Nível Impac.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI
1	1,2 x 1,5 x 0,05	1,20	1,50	0,05	56,70	68,04	238,14	306,18	7,4	D	7	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	1,2 x 1,5 x 0,05	1,20	1,50	0,05	57,00	68,40	239,40	307,80	9,8	D	10	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3	1,2 x 1,5 x 0,05	1,20	1,50	0,05	10,50	12,60	44,10	56,70	6,3	D	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	1,5 x 1,5 x 0,1	1,50	1,50	0,10	50,50	75,75	227,25	303,00	6,3	D	5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5	1,5 x 1,5 x 0,1	1,50	1,50	0,10	58,00	87,00	261,00	348,00	9,3	D	9	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	1,5 x 1,5 x 0,1	1,50	1,50	0,10	61,00	91,50	274,50	366,00	4,2	C	4	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	1,5 x 1,5 x 0,1	1,50	1,50	0,10	44,10	66,15	198,45	264,60	7,2	D	5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	2,0 x 2,0 x 0,15	2,00	2,00	0,15	1,40	2,80	8,40	11,20	7,2	D	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
9	2,0 x 2,0 x 0,15	2,00	2,00	0,15	58,00	116,00	348,00	464,00	4,1	C	4	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
10	2,0 x 2,0 x 0,15	2,00	2,00	0,15	217,50	435,00	1305,00	1740,00	2,4	B	9	..	..	..	1	2	..	..	..	..	..	..
11	2,0 x 2,0 x 0,15	2,00	2,00	0,15	44,40	88,80	266,40	355,20	1,7	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3	2
12	2,0 x 1,7	2,00	1,70	-	15,60	31,20	84,24	115,44	1,7	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
13	2,0 x 2,0 x 0,15	2,00	2,00	0,15	92,70	185,40	556,20	741,60	1,7	B	3	..	..	..	1,5	2	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>767,40</b>	<b>1328,64</b>	<b>4051,08</b>	5379,72	..	..	..	..	<b>0</b>	..	<b>2,5</b>	<b>..</b>	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>3</b>	..
Critérios %..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,0%	..	0,05%	..	0,00%	..	0,00%	..	0,06%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1976
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 1
Tipo de Sedimentos	Matéria organica (pouca)
Outros	..

**Tabela A1.9.** Informações Referentes à Galeria Rua Pernambuco (Arrudas)

Galeria Córrego Rua Pernambuco (Arrudas)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Area m <sup>2</sup> Piso	Area m <sup>2</sup> Parede+Teto	Area total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasão		Cavitação		Ataq.Químico		Assoreamento		Casual	
													Area (m <sup>2</sup> )	Nível Impac.	Area (m <sup>2</sup> )	NI	Area (m <sup>2</sup> )	NI	Area (m <sup>2</sup> )	NI	Area (m <sup>2</sup> )	NI
1	1,2 x 1,0	1,20	1,00	-	50,00	60,00	160,00	220,00	2,4	B	..	..	60	4	..	..	..	..	..	..	..	..
2	1,2 x 1,0	1,20	1,00	-	85,50	102,60	273,60	376,20	5,3	C	..	..	102,6	4	..	..	..	..	..	..	..	..
3	1,2 x 1,2	1,20	1,20	-	12,00	14,40	43,20	57,60	4,9	C	..	..	14,4	4	..	..	..	..	..	..	..	..
4	2,7 x 1,5	2,70	1,50	-	42,50	114,75	242,25	357,00	4,9	C	..	..	124,2	3	..	..	27,6	3	..	..	..	..
5	2,5 x 1,5	2,50	1,50	-	74,50	186,25	409,75	596,00	3	B	2	..	186,2	3	..	..	93,13	3	..	..	..	..
6	2,5 x 1,5	2,50	1,50	-	55,00	137,50	302,50	440,00	2	B	1	..	137,5	3	8	3	96,25	3	..	..	..	..
7	2,5 x 1,5	2,50	1,50	-	89,50	223,75	492,25	716,00	4	C	3	..	223,75	3	..	..	156,63	3	..	..	..	..
8	2,5 x 1,5	2,50	1,50	-	47,50	118,75	261,25	380,00	2,7	B	..	..	118,75	3	10	3	71,25	3	..	..	..	..
9	2,5 x 1,5	2,50	1,50	-	54,50	136,25	299,75	436,00	3,1	C	3	..	136,25	3	..	..	..	..	..	..	..	..
10	2,5 x 1,5	2,50	1,50	-	2,50	6,25	13,75	20,00	4	C	..	..	6,25	3	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>513,50</b>	<b>1100,50</b>	<b>2498,3</b>	3598,80	..	..	..	..	<b>1109,9</b>	..	<b>18</b>	..	<b>444,86</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..
Crítérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	30,84%	..	0,50%	..	12,36%	..	0,00%	..	0,00%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1970
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	nível 1
Tipo de Sedimentos	materia organica (pouca)
Outros	O trecho crítico ( 135,0 metros iniciais) foi construído em pedra argamassada

**Tabela A1.10. Informações Referentes à Galeria Engenho Nogueira (Onça)**

Galeria Córrego Engenho Nogueira (Onça)																						
Trecho	Seção	Largura da Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m <sup>2</sup> Piso	Área m <sup>2</sup> Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasão		Cavitação		Ataque Químico		Assoreamento		Casual	
													Área (m <sup>2</sup> )	Nível Impacto	Área (m <sup>2</sup> )	NI	Área (m <sup>2</sup> )	NI	Área (m <sup>2</sup> )	NI	Área (m <sup>2</sup> )	NI
2	2,0 x 2,0	2,00	2,00	-	40,00	80,00	240,00	320,00	1,5	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	3,5 x 2,2	3,50	2,20	-	194,00	679,00	1532,60	2211,60	1,5	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	2,5 x 2,5	2,50	2,50	-	319,60	799,00	2397,00	3196,00	0,8	A	..	..	3	2	..	..	..	74	2	..	..	..
9	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	25,00	112,50	212,50	325,00	4	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
10	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	91,00	409,50	773,50	1183,00	0,7	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
11	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	70,00	315,00	595,00	910,00	1,2	A	..	..	..	..	..	..	10	2	..	..	1	2
12	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	78,00	351,00	663,00	1014,00	0,3	A	..	..	..	..	..	..	90	2	..	..	3	2
13	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	81,00	364,50	688,50	1053,00	0,3	B	..	..	..	..	..	..	95	2	..	..	3	2
14	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	93,50	420,75	794,75	1215,50	1,9	B	..	..	4	3	..	..	103	2	..	..	5	2
15	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	68,00	306,00	578,00	884,00	0,5	B	..	..	..	..	..	..	80	2	..	..	2	2
16	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	155,00	697,50	1317,50	2015,00	0,5	A	..	..	..	..	..	..	170	2	193	2	4	2
17	4,5 x 2,0 x 0,3	4,50	2,00	0,30	4,50	20,25	38,25	58,50	2,2	A	..	..	..	..	..	..	7	2	21	2	..	..
18	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	105,00	273,00	588,00	861,00	1,2	B	..	..	78	3	..	..	..	..	..	..	..	..
19	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	31,50	81,90	176,40	258,30	1,2	A	..	..	32	3	..	..	..	..	..	..	..	..
20	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	68,00	176,80	380,80	557,60	0,8	A	..	..	70	3	..	..	..	52	2	..	..	..
21	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	124,00	322,40	694,40	1016,80	0,7	B	..	..	121	3	..	..	..	..	..	..	1	2
22	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	24,50	63,70	137,20	200,90	2	A	..	..	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..
23	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	51,00	132,60	285,60	418,20	0,5	A	..	..	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..
24	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	102,00	265,20	571,20	836,40	0,3	A	..	..	3	..	..	..	117	2	..	..	..	..
25	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	103,00	267,80	576,80	844,60	2	A	..	..	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..
26	2,6 x 1,5	2,60	1,50	-	97,00	252,20	543,20	795,40	0,9	A	..	..	3	..	..	..	..	..	1	2	2	2
27	3,2 x 1,4 x 0,15	3,20	1,40	0,15	48,00	153,60	288,00	441,60	0,8	C	..	..	2	..	..	..	154	2	..	..	..	..
28	3,2 x 1,4 x 0,15	3,20	1,40	0,15	110,00	352,00	660,00	1012,00	0,2	C	..	..	2	..	..	..	86	2	2	2	2	2
29	3,2 x 1,4 x 0,15	3,20	1,40	0,15	24,30	77,76	145,80	223,56	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
30	3,2 x 1,4 x 0,15	3,20	1,40	0,15	30,30	96,96	181,80	278,76	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
31	3,2 x 1,4 x 0,15	3,20	1,40	0,15	35,70	114,24	214,20	328,44	3,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
32	6,2 x 2,5 x 0,20	6,20	2,50	0,20	2,50	15,50	28,00	43,50	3,6	A	..	..	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..
33	6,2 x 2,5 x 0,20	6,20	2,50	0,20	55,00	341,00	616,00	957,00	0,3	A	..	..	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..
34	6,2 x 2,5 x 0,20	6,20	2,50	0,20	60,00	372,00	672,00	1044,00	0,5	A	..	..	..	..	..	..	..	..	2	2	2	2
35	6,2 x 2,5 x 0,20	6,20	2,50	0,20	64,00	396,80	716,80	1113,60	0,4	A	..	..	2	..	..	..	..	..	2	2	2	2
36	6,2 x 2,5 x 0,20	6,20	2,50	0,20	6,00	37,20	67,20	104,40	0,4	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
37	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	237,50	1448,75	2446,25	3895,00	0,2	B	..	..	..	..	1281	2	1448	2	..	..	..	..
38	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	100,00	610,00	1030,00	1640,00	0,9	A	..	..	..	..	60	2	..	..	..	..	..	..
39	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	54,00	329,40	556,20	885,60	0,3	B	..	..	..	..	7	2	..	..	1	2	2	2
40	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	56,00	341,60	576,80	918,40	0,5	A	..	..	..	..	1	3	..	..	..	..	..	..
41	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	56,00	341,60	576,80	918,40	1,2	A	..	..	..	..	..	..	..	..	4	3	3	3
42	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	163,00	994,30	1678,90	2673,20	0,5	A	..	..	..	..	150	2	..	..	2	2	2	2
43	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	55,00	335,50	566,50	902,00	2	A	..	..	..	..	52	2	..	..	4	2	2	2
44	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	3,00	18,30	30,90	49,20	0,3	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
45	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	24,50	149,45	252,35	401,80	0,3	A	..	..	2	..	..	..	..	..	1	2	2	2
46	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	27,50	167,75	283,25	451,00	0,3	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
47	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	84,00	512,40	865,20	1377,60	0,5	A	..	..	..	..	84	2	..	..	..	..	..	..
48	6,1 x 2,1 x 0,20	6,10	2,10	0,20	78,00	475,80	803,40	1279,20	0,6	A	..	..	2	..	..	..	..	..	1	2	2	2
49	2,95 x 2,4 x 0,20	2,95	2,40	0,20	981,00	2893,95	7602,75	10496,70	0,6	A	..	..	..	..	10	2	..	..	2	2	2	2
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>4280,90</b>	<b>16966,46</b>	<b>34643,30</b>	51609,76	..	..	..	..	..	<b>0</b>	..	<b>555</b>	..	<b>1578</b>	..	<b>22</b>	..	..
Crítérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,00%	..	1,08%	..	3,06%	..	0,04%	..	..

Informações Complementares	
Época da Construção	1976
Informação Hidráulica	
Turbidez da água	Nível 3 ( água continua turva após 24 horas de repouso)
Tipo de Sedimentos	Areia (pouca)
Outros	Os trechos faltantes referem-se a canais abertos

**Tabela A1.11. Informações Referentes a Galeria Taiobas (Av. Avaí) (Onça)**

<b>Galeria Córrego do Taiobas (Av. Avaí) (Onça)</b>																						
Trecho	Seção	Largura	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrassão		Cavitação		Ataq. Químico		Assoreamento		Casual	
													Área (m²)	Nível Impac.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI
1	3,5 x 2,0	3,50	2,00	-	102,50	358,75	768,75	1127,50	1,71	B	..	..	..	..	..	..	..	..	358,75	2	..	..
2	3,5 x 2,0	3,50	2,00	-	141,00	493,50	1057,50	1551,00	1,2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	42	2	3	2
3	3,5 x 2,0	3,50	2,00	-	108,00	378,00	810,00	1188,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	70	2	..	..
4	3,5 x 2,0	3,50	2,00	-	160,00	560,00	1200,00	1760,00	2	B	..	..	1,5	2	..	..	..	..	..	..	2	2
5	3,5 x 2,0	3,50	2,00	-	43,00	150,50	322,50	473,00	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	4,0 x 2,0	4,00	2,00	-	59,00	236,00	472,00	708,00	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2	2
7	4,0 x 2,0 x 0,2	4,00	2,00	0,20	30,00	120,00	240,00	360,00	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	4,0 x 2,0	4,00	2,00	-	18,00	72,00	144,00	216,00	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
9	4,0 x 2,0	4,00	2,00	-	134,00	536,00	1072,00	1608,00	1,4	B	..	..	2	2	..	..	..	..	..	..	..	..
10	4,0 x 2,0 x 0,2	4,00	2,00	0,20	41,50	166,00	332,00	498,00	1,9	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
11	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	4,00	16,00	32,00	48,00	1,9	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
12	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	49,00	196,00	392,00	588,00	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
13	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	61,00	244,00	488,00	732,00	0,9	A	..	..	1	2	..	..	..	..	..	..	1	2
14	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	0,8	A	..	..	1	2	..	..	..	..	..	..	1	2
15	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	1	A	..	..	1	2	..	..	..	..	..	..	1	2
16	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
17	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
18	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	1,1	B	..	..	1,5	2	..	..	..	..	..	..	1,5	2
19	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	0,6	A	..	..	1	2	..	..	..	..	..	..	1	2
20	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
21	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	61,00	244,00	488,00	732,00	0,9	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
22	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
23	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
24	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	60,00	240,00	480,00	720,00	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
25	4,0 x 2,0 x 0,4	4,00	2,00	0,40	119,00	476,00	952,00	1428,00	0,9	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1,5	2
26	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2
27	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
28	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
29	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
30	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	0,3	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
31	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
32	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
33	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
34	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	59,00	265,50	501,50	767,00	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
35	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	60,00	270,00	510,00	780,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
36	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	82,00	369,00	697,00	1066,00	1,2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
37	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	63,50	285,75	539,75	825,50	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
38	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	46,00	207,00	391,00	598,00	1,3	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
39	4,5 x 2,0 x 0,5	4,50	2,00	0,50	49,20	221,40	418,20	639,60	1,4	B	1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
40	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	24,80	128,96	238,08	367,04	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
41	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	66,00	343,20	633,60	976,80	0,7	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2
42	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	63,00	327,60	604,80	932,40	0,9	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
43	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	58,00	301,60	556,80	858,40	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
44	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	60,00	312,00	576,00	888,00	1,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
45	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	60,00	312,00	576,00	888,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
46	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	59,00	306,80	566,40	873,20	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
47	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	60,00	312,00	576,00	888,00	1,3	B	..	..	..	..	..	..	..	..	208	2	..	..
48	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	58,00	301,60	556,80	858,40	0,5	A	..	..	..	..	..	..	..	..	250	2	..	..
49	5,2 x 2,2 x 0,4	5,20	2,20	0,40	196,00	1019,20	1881,60	2900,80	0,4	A	..	..	..	..	..	..	..	..	1020	2	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>3275,50</b>	<b>14090,36</b>	<b>27474,28</b>	<b>41564,64</b>	..	..	..	..	<b>9</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>1590</b>	..	<b>16</b>	..
Crítérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,0%	..	0,00%	..	0,00%	..	3,83%	..	0,04%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1991
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 3
Tipo de Sedimentos	Areia ( pouca)
Outros	..

**Tabela A1.12. Informações Referentes à Galeria Açudinho (Onça)**

Galeria Córrego Açudinho (Onça)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrasão		Cavitação		Ataq.Químico		Assoreamento		Casual	
													Área (m²)	Nível Impac.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI
1	1,5 x 1,5	1,50	1,50	-	106,50	159,75	479,25	639,00	3,2	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	1,5 x 1,5	1,50	1,50	-	100,60	150,90	452,70	603,60	3	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3	1,6 x 1,8	1,60	1,80	-	100,00	160,00	520,00	680,00	1,5	B	..	..	1	2	..	..	..	..	..	..	1,5	2
4	1,6 x 1,8	1,60	1,80	-	119,50	191,20	621,40	812,60	1,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	100,00	180,00	540,00	720,00	1,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	119,50	215,10	645,30	860,40	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	102,50	184,50	553,50	738,00	1,5	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	116,50	209,70	629,10	838,80	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
9	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	103,00	185,40	556,20	741,60	1,5	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
10	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	116,00	208,80	626,40	835,20	2,9	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2	3
11	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	106,00	190,80	572,40	763,20	1,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
12	1,8 x 1,8	1,80	1,80	-	14,00	25,20	75,60	100,80	1,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
13	2,15 x 2,2	2,15	2,20	-	98,00	210,70	641,90	852,60	1,2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
14	2,2 x 2,15	2,20	2,15	-	101,00	222,20	656,50	878,70	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
15	2,2 x 2,15	2,20	2,15	-	100,00	220,00	650,00	870,00	1,2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
16	2,2 x 2,15	2,20	2,15	-	199,50	438,90	1296,75	1735,65	0,7	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	11	3
17	2,2 x 2,15	2,20	2,15	-	109,00	239,80	708,50	948,30	2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	4	3
18	4,0 x 2,0	4,00	2,00	-	94,50	378,00	756,00	1134,00	2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1,5	3
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>1906,10</b>	<b>3770,95</b>	<b>10981,50</b>	<b>14752,45</b>	..	..	..	..	<b>1</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>20</b>	..
Crítérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,0%	..	0,00%	..	0,00%	..	0,00%	..	0,14%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1990
Informação Hidráulica	
Turbidez da água	Nível 2
Tipo de Sedimentos	Matéria orgânica + areia (pouca)
Outros	

**Tabela A1.13. Informações Referentes à Galeria Rua Odilon Braga (Arrudas)**

Galeria Córrego Rua Odilon Braga (Arrudas)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área Total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Abrásão		Cavitação		Ataq.Químico		Assoreamento		Casual	
													Área (m²)	Nível Impac.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	NI	Área (m²)
1	1,2 x 1,5 x 0,1	1,20	1,50	0,10	19,17	23,00	80,51	103,52	10,6	E	3	..	38	3	4	4	..	..	..	..	..	..
2	1,2 x 1,5 x 0,1	1,20	1,50	0,10	50,00	60,00	210,00	270,00	15,8	E	12	..	30	3	80	4	..	..	..	..	..	..
3	1,2 x 1,5 x 0,1	1,20	1,50	0,10	50,00	60,00	210,00	270,00	8,2	D	8	..	66	3	44	4	8	3	..	..	..	..
4	1,2 x 1,5 x 0,1	1,20	1,50	0,10	50,00	60,00	210,00	270,00	7,6	D	6	..	70	3	40	4	8	3	..	..	..	..
5	1,2 x 1,5 x 0,1	1,20	1,50	0,10	60,00	72,00	252,00	324,00	8,9	D	13	..	44	3	88	4	4	3	..	..	..	..
6	1,2 x 1,8	1,20	1,80	..	48,50	58,20	232,80	291,00	8,9	D	2	1	74,7	3	32	4	20	3	10,08	2	..	..
7	1,2 x 1,5 x 0,2	1,20	1,50	0,20	19,70	23,64	82,74	106,38	12,6	E	..	..	25,34	3	18	4	..	..	..	..	..	..
8	1,2 x 1,4 x 0,4	1,20	1,40	0,40	73,20	87,84	292,80	380,64	12,6	E	..	5	113	3	..	..	36	3	4,8	2	..	..
9	1,2 x 1,4 x 0,4	1,20	1,40	0,40	209,40	251,28	837,60	1088,88	5,9	C	..	6	405,2	3	26	4	24	3	4,8	2	..	..
10	1,2 x 1,4 x 0,4	1,20	1,40	0,40	52,00	62,40	208,00	270,40	6,6	D	..	3	97,4	3	5	4	10	3	..	..	..	..
11	1,6 x 1,5 x 0,3	1,60	1,50	0,30	20,10	32,16	92,46	124,62	6,6	D	..	1	20,16	3	16	4	..	..	..	..	..	..
12	1,6 x 2,0 x 0,3	1,60	2,00	0,30	14,90	23,84	83,44	107,28	6,6	D	..	..	11,84	3	12	4	..	..	..	..	..	..
13	1,6 x 1,6 x 0,3	1,60	1,60	0,30	11,50	18,40	55,20	73,60	6,6	D	..	..	8,4	3	10	4	..	..	..	..	..	..
14	1,3 x 1,3 x 0,3	1,30	1,30	0,30	15,20	19,76	59,28	79,04	6,6	D	..	1	21,76	3	..	..	..	..	..	..	..	..
15	1,6 x 1,8 x 0,3	1,60	1,80	0,30	2,10	3,36	10,92	14,28	6,6	D	..	1	3,36	3	..	..	..	..	..	..	..	..
16	1,6 x 1,8 x 0,3	1,60	1,80	0,30	15,00	24,00	78,00	102,00	6,4	D	..	..	24	3	..	..	..	..	..	..	..	..
17	1,6 x 1,5 x 0,3	1,60	1,50	0,30	21,50	34,40	98,90	133,30	6,4	D	..	1	36,4	3	..	..	8	3	..	..	..	..
18	1,6 x 1,2 x 0,3	1,60	1,20	0,30	39,00	62,40	156,00	218,40	6,4	D	..	1	54,4	3	10	4	10	3	..	..	..	..
19	1,6 x 1,3 x 0,3	1,60	1,30	0,30	19,00	30,40	79,80	110,20	8,6	D	..	1	15,4	3	15	4	..	..	..	..	..	..
20	1,6 x 1,5 x 0,2	1,60	1,50	0,20	20,00	32,00	92,00	124,00	8,6	D	..	1	19	3	15	4	..	..	..	..	..	..
21	1,6 x 2,5 x 0,2	1,60	2,50	0,20	21,00	33,60	138,60	172,20	8,6	D	..	1	15,6	3	20	4	..	..	..	..	..	..
22	1,2 x 3,2 x 0,2	1,20	3,20	0,20	11,40	13,68	86,64	100,32	8,6	D	..	..	15,68	3	..	..	..	..	..	..	..	..
23	1,2 x 3,2 x 0,2	1,20	3,20	0,20	40,70	48,84	309,32	358,16	18,5	E	..	2	48,84	3	15	4	..	..	..	..	..	..
24	1,2 x 1,7 x 0,3	1,20	1,70	0,30	6,50	7,80	29,90	37,70	18,5	E	..	1	7,8	3	..	..	..	..	..	..	..	..
25	1,2 x 1,7 x 0,3	1,20	1,70	0,30	37,30	44,76	171,58	216,34	18,5	E	..	..	44,76	3	36	4	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>927,17</b>	<b>1187,76</b>	<b>4158,494</b>	<b>5346,26</b>	..	..	..	..	<b>1311,04</b>	..	<b>486</b>	..	<b>128</b>	..	<b>19,68</b>	..	<b>0</b>	..
Crítérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	24,52%	..	9,09%	..	2,39%	..	0,0036811	..	0	..

Informações Complementares	
Época da Construção	1966
Informação Hidráulica	Observação, na região dos degraus, que há patologia em altas vazões
Turbidez da água	Nível 1
Tipo de Sedimentos	Areia + matéria orgânica (pouca)
Outros	Presença de espuma de produtos químicos na água, que pode ter incrementado a abrasão

**Tabela A1.14.** Informações Referentes à Galeria Tijuco (Onça)

Galeria Córrego do Tijuco (Onça)																						
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Area m² Piso	Area m² Parede+Teto	Area total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5	
													Area (m²)	Nível Impac.	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI	Area (m²)	NI
1	1,2 x 1,6	1,20	1,60	-	5,00	6,00	22,00	28,00	2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
2	1,2 x 1,6	1,20	1,60	-	49,80	59,76	219,12	278,88	2,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3	1,2 x 1,6	1,20	1,60	-	106,50	127,80	468,60	596,40	2,8	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
4	1,2 x 1,6	1,20	1,60	-	56,80	68,16	249,92	318,08	1,9	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5	1,55 x 1,7	1,55	1,70	-	80,00	124,00	396,00	520,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
6	1,6 x 1,8	1,60	1,80	-	77,60	124,16	403,52	527,68	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
7	1,6 x 1,8	1,60	1,80	-	80,00	128,00	416,00	544,00	2,2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
8	1,6 x 1,8	1,60	1,80	-	117,80	188,48	612,56	801,04	1,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
9	1,6 x 1,8	1,60	1,80	-	83,30	133,28	433,16	566,44	2,1	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
10	2,8 x 1,5	2,80	1,50	-	77,00	215,60	446,60	662,20	1,6	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
11	2,8 x 1,5	2,80	1,50	-	82,00	229,60	475,60	705,20	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
12	2,8 x 1,5	2,80	1,50	-	80,90	226,52	469,22	695,74	0,6	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
13	2,8 x 1,5	2,80	1,50	-	60,00	168,00	348,00	516,00	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	112	2	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>956,70</b>	<b>1799,36</b>	<b>4960,30</b>	6759,66	..	..	..	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>0</b>	..	<b>112</b>	..	<b>0</b>	..
Critérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	0,0%	..	0,00%	..	0,00%	..	1,66%	..	0,00%	..

**Informações Complementares**

Época da Construção	1992
Informação Hidráulica	..
Turbidez da água	Nível 2
Tipo de Sedimentos	Areia + matéria organica (pouca)
Outros	..

**Tabela A1.15. Informações Referentes à Galeria Acaba Mundo (Arrudas)**

Galeria Córrego Acaba Mundo (Arrudas)																							
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	C1		C2		C3		C4		C5		
													Abrasão		Cavitação		Ataq. Químico		Assoreamento		Casual		
													Área (m²)	Nível Impact.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	
1	1,7 x 1,8	1,70	1,80	-	50,00	85,00	265,00	350,00	2,8	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3	2	
2	2,5 x 2,4	2,50	2,40	-	79,00	197,50	576,70	774,20	2,8	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
3	2,5 x 2,4	2,50	2,40	-	284,00	710,00	2073,20	2783,20	2,2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	5	2	..	..	
4	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	13,00	26,00	85,80	111,80	5,3	C	..	..	2	4	..	..	..	..	..	..	..	..	..
5	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	58,90	117,80	388,74	506,54	5,2	C	4	..	50	3	6	4	50	3	..	..	5	2	
6	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	94,50	189,00	623,70	812,70	4,7	C	8	..	112	3	8	4	112	3	..	..	14	2	
7	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	70,00	140,00	462,00	602,00	4	C	4	..	80	3	8	4	80	3	..	..	4	2	
8	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	94,00	188,00	620,40	808,40	4,3	C	5	..	82	3	6	4	82	3	..	..	2	2	
9	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	96,80	193,60	638,88	832,48	3,6	C	5	..	24	3	6	4	24	3	..	..	..	..	
10	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	111,50	223,00	735,90	958,90	3,8	C	4	..	68,5	3	12	4	68,5	3	..	..	4	2	
11	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	51,50	103,00	339,90	442,90	6,7	D	4	..	..	..	8	4	5	3	..	..	2	2	
12	2,0 x 2,3 x 0,2	2,00	2,30	0,20	88,50	177,00	584,10	761,10	5,2	C	6	..	..	..	10	4	10	2	..	..	..	..	
13	1,6 x 1,8 x 1,5	1,60	1,80	1,50	80,50	128,80	418,60	547,40	2,2	B	..	..	141,6	4	..	..	128,8	3	..	..	10	2	
14	1,6 x 1,8 x 1,5	1,60	1,80	1,50	64,00	102,40	332,80	435,20	4,6	C	..	2	102,4	4	..	..	102,4	3	..	..	4	2	
15	1,6 x 1,8 x 1,5	1,60	1,80	1,50	153,00	244,80	795,60	1040,40	3,9	C	..	..	293,7	4	..	..	244,8	2	..	..	..	..	
16	1,6 x 1,8 x 1,5	1,60	1,80	1,50	65,00	104,00	338,00	442,00	3,8	C	..	2	104	4	..	..	104	3	..	..	2	2	
17	1,9 x 1,9 x 0,6	1,90	1,90	0,60	181,00	343,90	1031,70	1375,60	3,8	C	..	5	304,8	4	..	..	..	..	..	..	..	..	
18	1,8 x 1,5	1,80	1,50	-	4,00	7,20	19,20	26,40	3,8	C	..	..	19,20	4	..	..	..	..	..	..	..	..	
19	2,6 x 2,6	2,60	2,60	-	39,00	101,40	304,20	405,60	6,9	D	..	2	101,4	4	..	..	..	..	..	..	..	..	
20	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	66,70	186,76	533,60	720,36	2,8	B	..	2	..	..	1	4	3	2	..	..	..	..	
21	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	51,00	142,80	408,00	550,80	4,1	C	..	2	..	..	4	4	4	2	..	..	..	..	
22	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	35,00	98,00	280,00	378,00	3,7	C	..	1	2	2	3	4	..	..	..	..	..	..	
23	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	79,00	221,20	632,00	853,20	2,2	B	..	3	2	2	9	4	..	..	..	..	..	..	
24	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	77,00	215,60	616,00	831,60	5	C	..	5	..	..	10	4	2	3	..	..	..	..	
25	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	57,50	161,00	460,00	621,00	5,5	C	..	4	..	..	6	4	2	2	..	..	..	..	
26	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	30,00	84,00	240,00	324,00	1,3	B	..	4	..	..	..	..	..	..	..	..	2	2	
27	2,8 x 2,6	2,80	2,60	-	69,50	194,60	556,00	750,60	3,7	C	..	3	..	..	2	4	2	2	..	..	..	..	
28	2,8 x 2,9	2,80	2,90	-	90,00	252,00	774,00	1026,00	3,7	C	..	4	..	..	6	4	..	..	..	..	..	..	
29	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	40,00	112,00	328,00	440,00	3,7	C	..	2	..	..	2	4	..	..	..	..	..	..	
30	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	30,00	84,00	246,00	330,00	4,6	C	..	2	..	..	2	4	2	2	..	..	..	..	
31	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	146,00	408,80	1197,20	1606,00	3,3	C	2	4	..	..	15	4	..	..	..	..	..	..	
32	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	13,50	37,80	110,70	148,50	4,4	C	1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2	
33	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	70,00	196,00	574,00	770,00	2,8	B	2	1	..	..	4	4	3	2	..	..	3	2	
34	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	42,00	117,60	344,40	462,00	2,3	B	..	2	..	..	2	4	..	..	..	..	..	..	
35	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	10,00	28,00	82,00	110,00	2	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	5	2	
36	2,8 x 2,7	2,80	2,70	-	3,50	9,80	28,70	38,50	9,1	D	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
37	2,8 x 2,8	2,80	2,80	-	4,50	12,60	37,80	50,40	9,1	D	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3	2	
38	4,2 x 3,4	4,20	3,40	-	4,00	16,80	44,00	60,80	9,1	D	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
39	4,2 x 3,4	4,20	3,40	-	45,00	189,00	495,00	684,00	5,4	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
40	4,2 x 3,3	4,20	3,30	-	16,30	68,46	176,04	244,50	5,4	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
41	4,2 x 3,2 x 0,25	4,20	3,20	0,25	30,40	127,68	322,24	449,92	5,4	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
42	4,2 x 3,2 x 0,25	4,20	3,20	0,25	24,00	100,80	254,40	355,20	4,1	C	..	1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
43	4,2 x 3,2 x 0,25	4,20	3,20	0,25	29,00	121,80	307,40	429,20	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
44	4,0 x 3,0 x 0,25	4,00	3,00	0,25	21,00	84,00	210,00	294,00	1	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
45	4,0 x 3,0 x 0,25	4,00	3,00	0,25	24,20	96,80	242,00	338,80	1,3	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
46	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	117,80	235,60	824,60	1060,20	1,3	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2	
47	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	50,00	100,00	350,00	450,00	3,8	C	3	1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
48	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	78,50	157,00	549,50	706,50	5,7	C	8	..	4	2	4	4	2	2	..	..	..	..	
49	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	90,00	180,00	630,00	810,00	2,3	B	3	..	2	2	4	4	..	..	..	..	..	..	
50	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	44,50	89,00	311,50	400,50	1,3	B	..	..	2	2	..	..	..	..	..	..	1	2	
51	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	59,50	119,00	416,50	535,50	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1	2	
52	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	102,00	204,00	714,00	918,00	2,2	B	4	..	2	2	6	4	6	3	..	..	..	..	
53	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	82,00	164,00	574,00	738,00	3,1	C	4	..	4	2	8	4	..	..	..	..	..	..	

## Continuação da Tabela A1.15

54	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	120,60	241,00	843,50	1084,60	2,8	B	5	..	2	2	7	4	2	2	..	..	..	..
55	2,0 x 2,5 x 0,3	2,00	2,50	0,30	7,00	14,00	49,00	63,00	3,3	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
56	3,3 x 1,9 x 0,3	3,30	1,90	0,30	39,00	128,70	276,90	405,60	3,3	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
57	4,0 x 2,5 x 0,5	4,00	2,50	0,50	10,00	40,00	90,00	130,00	3,3	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
58	6,0 x 2,8 x 0,5	6,00	2,80	0,50	44,00	264,00	510,40	774,40	3,3	C	..	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
59	6,0 x 3,3 x 0,5	6,00	3,30	0,50	82,00	492,00	1033,20	1525,20	3,3	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
60	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	124,00	744,00	1587,20	2331,20	3,3	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	2	2
61	6,0 x 1,7 x 0,5	6,00	1,70	0,50	100,00	600,00	940,00	1540,00	3,3	C	..	3	240	4	..	..	26	2	..	..	..	..
62	2,5 x 2,0	2,50	2,00	-	103,00	257,50	669,50	927,00	3,3	C	..	..	193,4	4	..	..	161,2	3	..	..	..	..
	1,8 x 1,5	1,80	1,50	-	103,00	185,40	494,40	679,80	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
63	5,0 x 2,5 x 0,6	5,00	2,50	0,60	67,00	335,00	670,00	1005,00	3,3	C	..	..	290	4	..	..	290	2	..	..	..	..
64	5,0 x 2,5 x 0,6	5,00	2,50	0,60	80,00	400,00	800,00	1200,00	3,3	C	..	..	75	4	..	..	75	2	..	..	..	..
65	6,0 x 1,9 x 0,4	6,00	1,90	0,40	60,00	360,00	588,00	948,00	4,6	C	5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3	2
66	6,0 x 1,9 x 0,4	6,00	1,90	0,40	62,00	372,00	607,60	979,60	0,8	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
67	6,0 x 1,9 x 0,4	6,00	1,90	0,40	73,00	438,00	715,40	1153,40	4,2	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
68	6,0 x 1,9 x 0,4	6,00	1,90	0,40	173,50	1041,00	1700,30	2741,30	1,6	B	11	..	..	..	..	..	4	3	..	..	..	..
69	6,0 x 1,9 x 0,4	6,00	1,90	0,40	100,00	600,00	980,00	1580,00	0,3	A	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
70	5,0 x 1,5	5,00	1,50	-	34,00	170,00	272,00	442,00	0,3	A	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>4793,60</b>	<b>14681,50</b>	<b>37331,40</b>	<b>52012,90</b>	..	..	..	..	<b>2295,2</b>	..	<b>159</b>	..	<b>1595,7</b>	..	<b>5</b>	..	<b>72</b>	..
Crítérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	4,4%	..	0,31%	..	3,07%	..	0,01%	..	0,14%	..

### Informações Complementares

Época da Construção	Afonso Pena ( 1967), Uruguai (1972), Tomé de Souza (1973), Bernardo Monteiro (1976), Brasil (1977) - Considerada a data média de 1975
Informação Hidráulica	
Turbidez da água	Nível 2
Tipo de Sedimentos	matéria organica ( pouca)
Outros	Trecho 17 a 19: laje de teto pré-fabricada; Trecho 63 e 64 : abóbada com tijolinhos

**Tabela A1.16. Informações Referentes à Galeria Serra (Arrudas)**

Galeria Córrego da Serra (Arrudas)														C1		C2		C3		C4		C5	
Trecho	Seção	Largura Seção	Altura da Seção	Calha	Extensão	Área m² Piso	Área m² Parede+Teto	Área total	Declividade	Classe de Declividade	Degrau	Rampa	Abrasão		Cavitação		Ataq. Químico		Assoreamento		Casual		
													Área (m²)	Nível Impact.	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	Área (m²)	NI	
1	2,0 x 2,5	2,00	2,50	-	75,50	151,00	528,50	679,50	6,6	D	1	..	236	3	40	4	43,4	4	..	..	225	3	
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	201,6	3	..	..	..	..	
2	2,0 x 2,3	2,00	2,30	-	16,30	32,60	107,58	140,18	4,8	C	1	..	24,6	3	14	4	9,78	4	..	..	4	3	
3	2,0 x 2,5	2,00	2,50	-	116,70	233,40	816,90	1050,30	4,8	C	6	..	219,4	3	14	4	69,6	4	..	..	..	..	
4	2,0 x 2,5	2,00	2,50	-	53,00	106,00	371,00	477,00	3,5	C	2	..	106	3	12	4	12	4	..	..	64	2	
5	2,0 x 2,5	2,00	2,50	-	46,70	93,40	326,90	420,30	7,4	D	5	..	93,4	3	..	..	29,8	4	..	..	50	3	
6	2,0 x 1,9	2,00	1,90	-	15,60	31,20	90,48	121,68	7,4	D	..	1	31,2	3	..	..	31,2	3	..	..	..	..	
7	2,65 x 1,8 x 0,2	2,65	1,80	0,20	26,40	69,96	165,00	234,96	7,4	D	..	2	52,8	2	..	..	52,8	3	..	..	2	2	
8	2,65 x 1,75	2,65	1,75	-	33,30	88,25	204,80	293,04	7,4	D	1	1	66,6	2	..	..	66,6	3	..	..	3	2	
9	2,55 x 1,75	2,55	1,75	-	38,50	98,18	232,93	331,10	3,3	C	..	2	38,5	3	4	4	7,7	3	..	..	110	2	
10	2,25 x 2,1	2,25	2,10	-	4,40	9,90	28,38	38,28	0,8	A	..	..	4,4	3	..	..	8,8	3	..	..	..	..	
11	2,25 x 2,3	2,25	2,30	-	56,40	126,90	386,34	513,24	0,8	A	..	..	46,4	3	..	..	112,8	2	..	..	12,5	2	
12	2,6 x 1,9	2,60	1,90	-	8,90	23,14	56,96	80,10	0,8	A	..	..	23,4	3	..	..	23,4	2	..	..	..	..	
13	2,6 x 1,9	2,60	1,90	-	68,00	176,80	435,20	612,00	0,8	A	..	..	132	3	..	..	5	4	..	..	..	..	
14	2,6 x 1,9	2,60	1,90	-	25,50	66,30	163,20	229,50	6	C	..	..	66,3	3	..	..	66,3	2	..	..	..	..	
15	1,8 x 2,4	1,80	2,40	-	13,50	24,30	89,10	113,40	6	C	..	1	24,3	3	6	4	24,3	2	..	..	..	..	
16	1,8 x 2,1	1,80	2,10	-	41,00	73,80	246,00	319,80	6	C	..	3	26	3	85,8	4	73,8	3	..	..	3	2	
17	2,6 x 1,9	2,60	1,90	-	23,00	59,80	147,20	207,00	6	C	4	..	59,8	3	..	..	59,8	2	..	..	20	4	
18	2,6 x 1,9	2,60	1,90	-	7,50	19,50	48,00	67,50	1,8	B	1	..	19,5	3	..	..	19,5	2	..	..	..	..	
19	2,6 x 2,0	2,60	2,00	-	3,50	9,10	23,10	32,20	1,8	B	..	..	9,1	3	..	..	9,1	2	..	..	..	..	
20	2,6 x 2,0	2,60	2,00	-	79,00	205,40	521,40	726,80	5,5	C	..	8	175,4	3	30	4	104	2	..	..	8	2	
21	2,6 x 2,0	2,60	2,00	-	76,20	198,12	502,92	701,04	5	C	2	6	198	3	10	4	198	2	..	..	8	2	
22	2,6 x 1,8	2,60	1,80	-	35,80	93,08	221,96	315,04	5	C	9	..	78	3	15	4	93	2	..	..	80	2	
23	2,6 x 2,3	2,60	2,30	-	61,00	158,60	439,20	597,80	5	C	5	3	153,6	3	5	4	158,6	2	..	..	12	2	
24	2,6 x 2,3	2,60	2,30	-	29,50	76,70	212,40	289,10	7,8	D	5	..	38,3	3	38,3	4	76,7	2	..	..	102	3	
25	2,6 x 2,4	2,60	2,40	-	10,50	27,30	77,70	105,00	7,8	D	1	..	9,45	3	9,45	4	9,45	2	..	..	50,4	2	
26	1,8 x 2,4	1,80	2,40	-	57,00	102,60	376,20	478,80	7,8	D	5	2	20,5	3	82	4	18	2	..	..	14	2	
27	2,7 x 2,5	2,70	2,50	-	15,00	40,50	115,50	156,00	7,8	D	..	..	..	..	48,5	4	..	..	..	..	..	..	
28	2,7 x 2,6	2,70	2,60	-	44,00	118,80	347,60	466,40	7,8	D	..	..	..	..	142,4	4	..	..	..	..	..	..	
29	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	22,20	77,70	155,40	233,10	7,8	D	4	..	..	..	72	4	..	..	..	..	..	..	
30	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	14,40	50,40	100,80	151,20	6,9	D	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
31	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	25,00	87,50	175,00	262,50	6,9	D	4	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
32	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	41,00	143,50	287,00	430,50	6,5	D	6	..	..	..	1	4	1	2	..	..	2	2	
33	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	145,50	509,25	1018,50	1527,75	4,3	C	10	..	..	..	..	..	..	..	..	..	7	2	
34	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	52,50	183,75	367,50	551,25	3,6	C	3	..	183,7	3	..	..	8	4	..	..	..	..	
35	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	48,50	169,75	339,50	509,25	4,1	C	2	..	169,7	3	..	..	..	..	..	..	..	..	
36	3,5 x 1,75	3,50	1,75	-	24,20	84,70	169,40	254,10	2,6	B	3	..	84,7	3	..	..	6,4	4	..	..	..	..	
37	3,5 x 1,7	3,50	1,70	-	24,80	86,80	171,12	257,92	2,6	B	2	..	85,2	3	..	..	7	4	..	..	..	..	
38	3,5 x 1,7	3,50	1,70	-	118,50	414,75	817,65	1232,40	5,4	C	8	..	414	3	..	..	6	3	..	..	4	2	
39	3,5 x 2,4	3,50	2,40	-	47,50	166,25	394,25	560,50	4,8	C	5	..	166,2	3	..	..	19	4	..	..	..	..	
40	3,2 x 3,2	3,20	3,20	-	9,80	31,36	94,08	125,44	4,8	C	2	..	34,3	3	..	..	8	4	..	..	..	..	
41	3,2 x 3,05	3,20	3,05	-	12,70	40,84	118,11	158,75	4,8	C	..	..	40,6	3	..	..	4	4	..	..	..	..	
42	3,2 x 3,05	3,20	3,05	-	51,00	163,20	474,30	637,50	3,5	C	3	..	163,2	3	..	..	326	4	..	..	..	..	
43	3,2 x 3,05	3,20	3,05	-	45,00	144,00	418,50	562,50	3,1	C	2	..	144	3	..	..	..	..	..	..	..	..	
44	3,2 x 3,05	3,20	3,05	-	44,00	140,80	409,20	550,00	3,1	C	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	3	2	
45	3,2 x 3,05	3,20	3,05	-	84,00	268,80	761,20	1050,00	2,7	B	4	..	..	..	..	..	3	2	..	..	1	..	
46	3,2 x 3,15	3,20	3,15	-	61,00	195,20	579,50	774,70	2,9	B	3	..	..	..	1	4	..	..	..	..	..	..	
47	3,2 x 3,15	3,20	3,15	-	76,00	243,20	722,00	965,20	4,8	C	5	..	..	..	5	4	..	..	..	..	..	..	
48	3,15 x 3,15	3,15	3,15	-	10,30	32,45	97,34	129,78	1,4	B	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
49	4,05 x 2,45	4,05	2,45	-	70,50	285,53	630,98	916,50	1,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
50	4,05 x 2,45	4,05	2,45	-	46,00	186,30	411,70	598,00	3,5	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
51	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	5,00	20,50	40,50	61,00	3,5	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	
52	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	63,00	258,30	510,30	768,60	0,9	A	..	..	258,3	3	..	..	258,3	3	..	..	..	..	
53	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	52,00	213,20	421,20	634,40	3,8	C	4	..	213,2	3	..	..	213,2	2	..	..	..	..	

## Continuação da Tabela A1.16

54	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	56,50	231,65	457,65	689,30	6,1	D	7	..	231,6	3	..	..	231,6	2	..	..	..	..
55	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	46,00	188,60	372,60	561,20	4,7	C	5	..	94,3	3	94,3	4	188,6	3	..	..	..	..
56	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	68,50	280,85	554,85	835,70	0,8	A	1	..	280,8	3	..	..	280,3	2	..	..	..	..
57	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	68,30	280,03	553,23	833,26	1,9	B	3	..	..	..	84	4	280	2	..	..	..	..
58	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	73,00	299,30	591,30	890,60	4,2	C	6	..	149,3	3	150	4	299,3	3	..	..	..	..
59	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	72,70	298,07	588,87	886,94	4,1	C	5	..	238	3	60	4	298	3	..	..	..	..
60	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	54,00	221,40	437,40	658,80	6,1	D	6	..	155	3	66	4	221,4	2	..	..	..	..
61	4,1 x 2,0 x 1,2	4,10	2,00	1,20	68,30	280,03	553,23	833,26	5,2	C	10	..	280	3	..	..	280	2	..	..	..	..
62	4,1 x 2,5	4,10	2,50	-	36,70	150,47	333,97	484,44	5,2	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
63	6,0 x 3,4 x 0,65	6,00	3,40	0,65	25,00	150,00	320,00	470,00	5,2	C	..	..	..	..	..	..	3	3	..	..	..	..
64	6,0 x 3,4 x 0,65	6,00	3,40	0,65	60,00	360,00	768,00	1128,00	1,1	B	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
65	6,0 x 3,4 x 0,65	6,00	3,40	0,65	12,00	72,00	153,60	225,60	2,4	B	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
66	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	38,00	228,00	486,40	714,40	2,4	B	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
67	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	37,50	225,00	480,00	705,00	0,8	A	..	..	38	2	..	..	..	..	..	..	..	..
68	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	45,50	273,00	582,40	855,40	5,2	C	5	..	46	2	..	..	..	..	..	..	..	..
69	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	75,00	450,00	960,00	1410,00	5,3	C	7	..	78	2	..	..	..	..	..	..	..	..
70	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	61,50	369,00	787,20	1156,20	4	C	5	..	63	2	..	..	..	..	..	..	..	..
71	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	83,00	498,00	1062,40	1560,40	4,2	C	6	..	83	2	..	..	..	..	..	..	..	..
72	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	67,00	402,00	857,60	1259,60	3,4	C	4	..	67	2	..	..	..	..	..	..	..	..
73	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	53,00	318,00	678,40	996,40	4,1	C	4	..	53	2	..	..	..	..	..	..	..	..
74	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	29,50	177,00	377,60	554,60	6,1	D	4	..	30	2	..	..	..	..	..	..	..	..
75	6,0 x 3,4 x 0,5	6,00	3,40	0,50	163,00	978,00	2086,40	3064,40	3,6	C	4	1	110	2	..	..	..	..	..	..	..	..
76	6,0 x 4,0 x 0,3	6,00	4,00	0,30	74,20	445,20	1038,80	1484,00	3,6	C	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
<b>Total</b>	..	..	..	..	<b>3644,30</b>	<b>13888,04</b>	<b>32069,36</b>	<b>45957,40</b>	..	..	..	..	<b>5911,45</b>	..	<b>1089,75</b>	..	<b>5142,63</b>	..	<b>0</b>	..	<b>784,9</b>	..
Critérios %	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	12,9%	..	2,37%	..	11,19%	..	0,00%	..	1,71%	..

### Informações Complementares

Época da Construção	1971
Informação Hidráulica	Há forte degradação nos trechos 27, 28 e 29 devido a chegada de afluentes
Turbidez da água	Nível 1
Tipo de Sedimentos	Matéria orgânica (pouca)
Outros	Presença forte de esgotos

## ***Apêndice 2 - Tecnologias utilizadas para recuperar galerias deterioradas***

## ***A 2. Tecnologias utilizadas para recuperar galerias deterioradas***

Neste anexo são apresentadas algumas técnicas utilizadas para recuperar as galerias de águas pluviais urbanas deterioradas, tomando como base as intervenções feitas pela Prefeitura de Belo Horizonte, através da SUDECAP, sendo os projetos elaborados pela empresa Recuperação Engenharia.

Inicialmente é preciso isolar a área de trabalho, fazendo-se uma interdição total ou parcial das ruas ou avenidas onde estão localizadas as galerias que serão reabilitadas.

Para acesso de pessoal e material ao interior das estruturas de concreto são feitas aberturas de aproximadamente 1,0 m<sup>2</sup> na laje de teto, por onde são instaladas escadas e guinchos, conforme mostrado na Figura A.2.3. A abertura na laje é feita, preferencialmente, por corte com disco diamantado, podendo ser feita também uma demolição com rompedores elétricos ou pneumáticos.

Após a montagem do canteiro e o restante da infraestrutura externa necessária para o trabalho é feita uma barragem dentro da galeria com sacos de areia, instalada na montante do trecho a ser recuperado, com objetivo de ensecar a galeria e iniciar as intervenções de reparo. A barragem não pode ser muito alta, devendo atingir no máximo 50% da altura interna da galeria, pois, em caso de chuva leve, o excesso de água deve passar por cima dela, e em caso de chuva pesada, ela deve romper-se, para não causar inundação na região, de acordo com a Figura A.2.4.

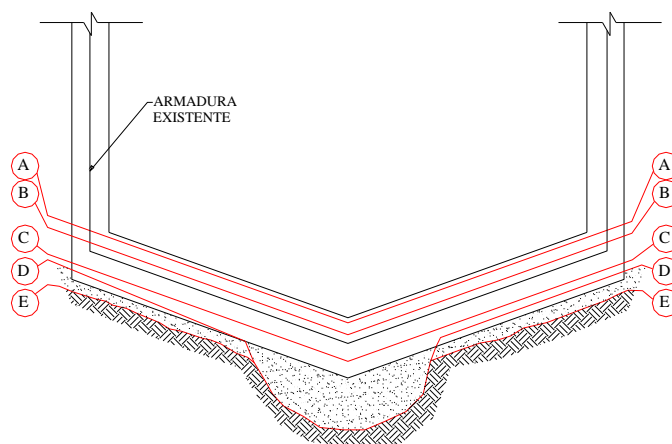
As águas represadas são canalizadas em tubos de PVC, fixados nas paredes do canal, e transportadas ao longo de toda a extensão do trecho em reparo. Após o ensecamento da galeria é feita uma iluminação provisória e instalada uma ventilação forçada, situação vista na Figura A.2. 5.

Em seguida são feitas a remoção dos entulhos existentes e das armaduras soltas, possibilitando a visualização da situação real em que se encontra a estrutura.

Nas galerias em que a laje de piso encontra-se muito deteriorada, com a presença de grandes cavidades por causa da perda de seção de concreto, é preciso primeiro preencher os buracos existentes com material britado, tipo bica corrida, sem remoção das águas retidas nas cavidades, possibilitando o tráfego dos operários, conforme Figura A.2.6.

O próximo passo é recuperar a laje de piso, que normalmente é a parte da galeria mais afetada pelos desgastes. A intervenção vai depender do nível de deterioração, devendo ser enquadrada em uma das seguintes situações, de acordo com a Figura A.2.1:

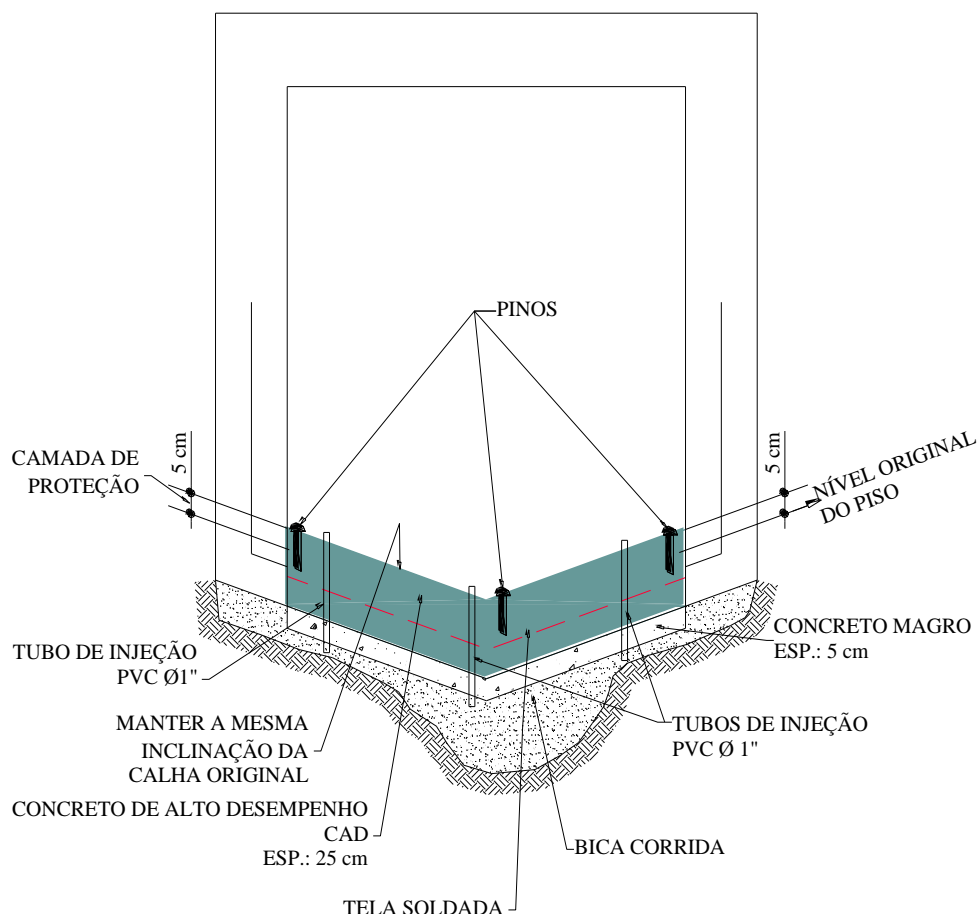
- **Tipo A:** quando o nível de desgaste situa-se acima da armadura da laje de piso.
- **Tipo B:** quando o nível de desgaste situa-se na região da armadura da laje de piso com exposição parcial das barras.
- **Tipo C:** quando o nível de desgaste situa-se abaixo da região da armadura, com exposição total das barras, mas ainda com a presença da parte inferior da laje.
- **Tipo D:** quando o nível de desgaste situa-se abaixo da laje de piso, com perda parcial da estrutura de concreto.
- **Tipo E:** quando o nível de desgaste situa-se abaixo da laje de piso, com perda total da estrutura de concreto.



**Figura A.2.1**– Seção tipo dos diversos níveis de deterioração dos pisos das galerias (Recuperação, 2008)

Para as situações mais críticas, enquadradas como Tipo E, os principais procedimentos recomendados para as intervenções de recuperação, conforme ilustrado pela Figura A.2.2, são:

- a) Demolição com rompedores pneumáticos das partes do piso remanescente que estejam sem suporte, devendo permanecer somente concreto íntegro, conforme mostrado na Figura A.2.7;
- b) Reconstituição do nível original da superfície da laje de piso utilizando linhas de pedreiro. A partir deste nível, marcar 25 cm abaixo, definindo a região que será reconstruída com concreto;
- c) Preenchimento de todos os vazios com material britado tipo bica corrida, compactando-a hidráulicamente até a estabilização, tomando-se o cuidado de regularizar o piso, dando-lhe a mesma conformação da laje a ser concretada;
- d) Colocação de tubos de injeção (PVC Ø 1”) nos eixos e bordas, a cada 2 metros lineares no máximo. Na região de laje de piso, utilizar perfuratriz para instalação dos tubos;
- e) Lançamento de concreto magro na espessura de 5 cm, mantendo-se a conformação da laje a ser concretada;
- f) Fixação de tela soldada tipo Q 196 com 5 mm, malha 10 x 10 cm, em toda a área do piso, fixada por suportes metálicos, instalada a 10 cm do piso, de acordo com a Figura A.2.8;
- g) Lançamento através de bomba, conforme mostrado na Figura A.2.9, de concreto de alto desempenho ( $f_{ck} = 50$  MPa, fator a/c 0,40) numa espessura de 25 cm, sendo 20 cm para reconstituição da laje e 5 cm como camada de proteção;
- h) Instalação de 3 (três) pinos de referência para monitoramento futuro, em aço inox, com 10 cm de comprimento e diâmetro mínimo de ½” nas bordas e eixo do canal, a cada 50 m no máximo, e sempre na região de poços de visita e grelhas para monitoramento posterior;
- i) Após fazer o acabamento da superfície do piso deixando-o liso e desempenado, conforme Figura A.2.10, executar cura úmida rigorosa por três dias, utilizando mantas de polipropileno acopladas a filme de polietileno;
- j) Execução das injeções pelos tubos de calda de cimento, argila e bentonita para o preenchimento de todos os vazios. No final da operação o excedente de tubos é cortado.



**Figura A.2.2**– Desenho esquemático das etapas construtivas do piso Tipo E (RECUPERAÇÃO, 2008)

Após a recuperação da laje de piso são feitas as intervenções nas paredes e na laje de teto, em geral, armaduras expostas em processo de corrosão.

O concreto comprometido deve ser removido, liberando as armaduras nestas regiões. Todo o material solto, desagregado e contaminado deverá ser retirado até atingir o concreto são. A remoção é realizada por apicoamento mecânico utilizando martelo rompedor elétrico, devendo liberar totalmente o trecho corroído das armaduras, prosseguindo até encontrar o trecho são das barras.

O concreto existente atrás das armaduras corroídas é totalmente removido, de modo que exista um espaço livre de 1,0 cm a 2,0 cm para permitir a perfeita limpeza da barra de aço e o completo preenchimento da cavidade com os materiais de reparo.

Após a demolição do concreto e liberação completa das armaduras corroídas, procede-se a limpeza manual dos produtos de corrosão incrustados nas barras utilizando escova de cerdas metálicas. Após a limpeza da armadura, verificar o nível de perda da seção da barra de aço. Se

for constatada uma perda superior a 20% da seção original é feita uma complementação das armaduras.

O substrato deverá estar convenientemente preparado para receber os materiais de reparo. Para garantir a aderência do concreto velho com os materiais novos é necessário que o substrato possua superfície limpa, íntegra e saturada por água potável.

Os produtos de reparo mais utilizados são as argamassas poliméricas (espatuladas ou projetadas), grautes (vertidos em fôrma ou espatulados) e concreto projetado, conforme figuras A.2.11 e A.2.12.

Para exemplificar são apresentadas a seguir fotos com os principais procedimentos que foram adotados nas obras de recuperação da galeria da Av. Francisco Deslandes em Belo Horizonte, realizadas pela SUDECAP no ano de 2008. O nível de degradação do piso desta galeria foi enquadrado como “Tipo D”.



**Figura A.2.3**– O acesso de pessoas e material foi realizado por aberturas na laje de teto



**Figura A.2.4** – A barragem permitiu canalizar a água em tubos de PVC para ensecar a galeria



**Figura A.2.5**– Aspecto da galeria logo após o ensecamento e iluminação provisória



**Figura A.2.6**– As cavidades maiores foram preenchidas com material britado



**Figura A.2.7**– O piso comprometido foi demolido, ficando somente áreas íntegras



**Figura A.2.8**– Instalação de uma malha de aço sobre o piso



**Figura A.2.9**– Reconstituição do piso com concreto bombeado



**Figura A.2.10**– Visão da laje de piso depois do acabamento da superfície, observando que os degraus foram transformados em rampas suaves



**Figura A.2.11** – Reparos das armaduras expostas nas paredes com argamassa polimérica



**Figura A.2.12**– Reconstituição da laje de teto com concreto projetado, após o tratamento da corrosão das armaduras

Para minimizar o surgimento de novas cavitações, sempre que possível, os degraus devem ser transformados em rampas, conforme mostrado na Figura A.2.10, mesmo empregando materiais de alta qualidade nos reparos. Somente após a reconstituição do piso serão feitos os demais reparos, como a recuperação das paredes e da laje de teto.

A Prefeitura de Belo Horizonte, através da SUDECAP, vem acumulando grande experiência na recuperação das galerias, que estão sendo executadas dentro de um planejamento feito a partir de uma escala de prioridades elaborada com as informações obtidas no PDD-BH (2001). Cada galeria tem as suas particularidades, sendo que o exemplo citado acima foi apresentado de forma sucinta, com objetivo de somente ilustrar este interessante e complexo trabalho de recuperação de uma galeria de águas pluviais urbanas.

### **Apêndice 3 - Avaliação da presença de sedimentos e nível de turbidez das águas.**

### **A.3 Avaliação da presença de sedimentos e nível de turbidez das águas.**

Esta parte do trabalho apresenta os ensaios feitos para avaliar a presença de sedimentos e o nível de turbidez das águas das 16 galerias que participaram das investigações estatísticas da pesquisa.

Foram coletadas duas amostras das águas de cada uma das 16 galerias, retiradas aproximadamente nos terços médios da extensão de cada canal. As amostras foram retiradas no mês de julho de 2011, tradicionalmente um período de seca, com os fluxos de baixa vazão.

As amostras foram retiradas utilizando a abertura dos poços de visita das galerias, quando um inspetor desceu por uma escada até chegar na laje de fundo da galeria para proceder a coleta dos líquidos.

Todo o material foi envasado em recipientes hermeticamente fechados, feitos de vidros translúcidos de 500 ml e encaminhados ao laboratório da Recuperação Engenharia, ficando em repouso por 48 horas para decantar os sedimentos.

Após este período foi realizado uma avaliação visual para identificar os sedimentos decantados, fazendo uma avaliação meramente qualitativa.

Depois de caracterizar os sedimentos presentes nos fluxos, os vasilhames de vidro foram agitados manualmente para avaliar a turbidez da águas, classificando-as em níveis ( 1, 2 ou 3), de acordo com a Figura do 3.27 da pesquisa .

A Tabela A.3. 1 mostra todos os resultados obtidos, que foram lançados nas tabelas com as informações referentes às 16 galerias da pesquisa (Apêndice 1).

**Tabela A.3.1** Resultados do nível de turbidez e sedimentos

<b>Nome das galerias</b>	<b>Local da coleta</b>	<b>Nível de turbidez</b>	<b>Sedimentos</b>
<b>Cardeal</b>	Rua Maria Conceição Bonfim/ Rua Elisa Helena	Nível 2	Pouca matéria orgânica
<b>Ivaí</b>	Av. Ivaí / Rua Bocaina/Av. Ivaí / Marataizes	Nível 1	Pouca matéria orgânica
<b>Consul Cadar</b>	Rua Kepler / Rua Trópicos Rua Consul Cadar / Rua Prof. J. Renault	Nível 1	Areia + pouca matéria orgânica
<b>Serra</b>	Rua Américo Scott / Rua D. Cecília Av. Brasil / Av. Francisco Sales	Nível 1	Pouca matéria orgânica
<b>Tijuco</b>	Av. Fleming / Rua Brasileia Av. Fleming / Rua Exped. Paulo de Oliveira	Nível 2	Areia + pouca matéria orgânica
<b>Engenho Nogueira</b>	Rua Dr. Eduardo Mendes Guimaraes /Rua Líder	Nível 3	Areia
<b>Francisco Deslandes</b>	Av. Francisco Deslandes / Rua Itapema Rua Outono / Rua Andaluzita	Nível 3	Argila + matéria orgânica
<b>Mem de Sá</b>	Av. Mem de Sá / Rua Levi Freire Av. Mem de Sá / Rua Maracanã	Nível 1	Areia
<b>Pernambuco</b>	Rua Pernambuco / Rua Bernardo Guimaraes Rua Pernambuco / Av Afonso Pena	Nível 1	Matéria orgânica
<b>Flor de Agua</b>	Av. Tancredo Neves / Av. Miguel Perrela Av. Tancredo Neves / Rua Albert Sabin	Nível 1	Matéria orgânica
<b>Taiobas</b>	Av. Brigadeiro E. Gomes / Rua Aragua Av. Brigadeiro E. Gomes / Rua Piratini	Nível 3	Areia
<b>Coqueiros</b>	Av. Aminthas J. de Moraes / Rua Palestina Av. Aminthas J. de Moraes / Rua Jacarei	Nível 1	Matéria orgânica
<b>Açudinho</b>	Av. Saramenha/ José Clemente/Av. Saramenha / Rua Heitor Prazeres	Nível 2	Areia + matéria orgânica
<b>Odilon Braga</b>	Rua Odilon Braga / Rua Dom Vital Rua Odilon Braga / Rua Luiz Silva	Nível 1	Areia + matéria orgânica
<b>Palmira</b>	Rua Palmira / Rua Herval/Rua Capivari / Rua Corinto	Nível 3	Areia + matéria orgânica
<b>Acaba Mundo</b>	Av. Afonso Pena/ Av. Uruguai/ Rua Tomé de Souza/ Av. Bernardo Monteiro/ Av. Brasil	Nível 2	Matéria orgânica

## **Apêndice 4 -**

### **Investigações estatísticas – Análise descritiva, univariada e multivariada**

## A.4 -Investigações estatísticas – Análise descritiva, univariada e multivariada

### Objetivos

Avaliar os indicadores de intensidade das patologias assoreamento, erosão por abrasão, erosão por cavitação, erosão por ataque químico e patologia casual nas galerias da Bacia do Onça ou do Arrudas que sofreram intervenções de reparo.

### Descrição dos dados

As informações coletadas foram digitadas em um banco de dados desenvolvido no Excel®. Foram avaliadas 16 galerias, sendo 12 utilizadas para a modelagem e 4 para validação.

Entre as 12 galerias foram avaliados 368 trechos, sendo 31 na galeria Córrego Av. Mem de Sá (Arrudas), 40 na galeria Córrego Av. Francisco Deslandes (Arrudas), 44 na galeria Córrego Engenho Nogueira (Onça), 76 no Córrego da Serra (Arrudas), 8 no Córrego Av. Cônsul Antonio Cadar (Arrudas), 13 no Córrego Av. Ivai (Onça), 8 no Córrego Av. Cardeal (Onça), 71 no Córrego Acaba Mundo (Arrudas), 13 no Córrego do Tijuco (Onça), 49 no Córrego do Taiobas (Arrudas), 5 no Córrego Flor d'água (Onça) e 10 na galeria Córrego rua Pernambuco (Arrudas).

Os nomes e formas das variáveis respostas em estudo são apresentados no Quadro A.4.1.

#### QUADRO A.4.1

Nomes e formas das variáveis respostas

Nome	Forma	Observações
Abrasão	Quantitativa/Categórica	As características foram avaliadas em relação à porcentagem da área total levando-se em consideração também o nível de impacto
Cavitação	Quantitativa/Categórica	
Ataque químico	Quantitativa/Categórica	
Assoreamento	Quantitativa/Categórica	
Casual	Quantitativa/Categórica	

Os nomes das características e como foram avaliadas em relação às variáveis respostas são apresentadas no Quadro A.4.2

## QUADRO A.4.2

### Nome e forma da característica avaliada

Nome	Forma	Observação
Calha	Quantitativa	-
Declividade	Quantitativa/Categórica	A, B, C, D, E
Degrau	Categórica	Sim, Não
Rampa	Categórica	Sim, Não
Idade da galeria	Quantitativa	-
Turbidez da água	Categórica	Nível 1, 2, 3
Tipo de sedimento	Categórica	Areia, areia+matéria orgânica, argila+matéria orgânica, matéria orgânica

As análises foram realizadas através do *software* R versão 2.7.1 e EpiInfo versão 6.04, ambas de domínio público. O nível de significância adotado foi de 5%.

## ***Etapas da análise estatística***

### **Análise Descritiva**

Todas as características apresentadas no item anterior foram descritas. Estes resultados foram obtidos utilizando frequências e porcentagens para as características das diversas variáveis categóricas e da obtenção de medidas de tendência central (média e mediana) e medidas de dispersão (desvio-padrão) para as quantitativas (TRIOLA, 2005).

Foram feitos gráficos *box-plot* para as características quantitativas. O início da caixa representa o primeiro quartil, ou seja, que 25% das observações estão abaixo deste valor. A linha central representa a mediana, indicando que 50% dos valores estão acima e outros 50% abaixo deste valor. Em alguns casos este também é o valor máximo. O fim da caixa representa o terceiro quartil, que indica que 75% das observações estão abaixo deste valor. Os asteriscos indicam pacientes considerados valores extremos, ou seja, muito diferentes dos valores apresentados pelos outros pacientes (*outlier*).

Nas tabelas, n corresponde ao número de observações, n\* aos casos sem informação, D.P. ao desvio padrão, 1° Q a 1° Quartil e 3° Q a 3° Quartil.

## **Análise Univariada**

As comparações entre as características quantitativas e as variáveis respostas na forma categórica (nível de impacto) foram realizadas por meio do teste Kruskal-Wallis, uma vez que as suposições de normalidade e homocedasticidade foram violadas. A suposição de normalidade foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk.

Entre as características quantitativas foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson, que tem o símbolo  $r$ , se as duas características apresentarem distribuição Normal. Caso contrário, foi calculado o coeficiente de correlação de Spearman. Estes coeficientes fornecem uma medida da força de relacionamento linear entre duas variáveis contínuas e varia de  $-1$  a  $+1$  passando pelo zero. Assim, valores próximos de  $+1$  indicam correlação positiva forte e de  $-1$  indicam correlação negativa forte. Já valores de  $r$  próximo de zero indicam falta de associação entre as variáveis.

Já as comparações entre as características e as variáveis respostas ponderadas pela área total foram realizadas por meio do modelo de regressão Beta Inflacionada de zeros (Ferrari e Cribari Neto, 2004). Neste tipo de ajuste, a variável resposta varia entre 0 e 1, sendo então utilizada diretamente a porcentagem da área calculada.

## **Análise Multivariada**

Foram desenvolvidos modelos de regressão Beta inflacionada para a porcentagem da área e modelo politômico para nível de impacto, para cada patologia. Inicialmente foram incluídas no processo de ajuste do modelo de regressão todas as características com valor- $p \leq 0,25$  na análise univariada. Em seguida, foram retiradas, uma a uma, as variáveis que apresentaram maior valor- $p$  até que restassem apenas aquelas com significância estatística (valor- $p \leq 0,05$ ). A adequação do modelo foi avaliada pela Deviance.

Vale destacar que no ajuste do modelo politômico, para as características que tiveram suas categorias agrupadas (turbidez da água, tipo de sedimento, classe da declividade), apenas uma das categorizações criadas fez parte do processo de ajuste do modelo multivariado.

## Resultados

### Análise Descritiva

A Tabela A.4.1 apresenta as descrições da porcentagem da área de abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual em relação à área total. Observa-se que, em média, a área de abrasão ocupava 7,1% da área dos trechos das galerias, a área de cavitação ocupava 1,3%, de ataque químico ocupava 4,8%, de assoreamento 2,0% e a área casual ocupava 1,1% da área total destes trechos.

**TABELA A.4.1**

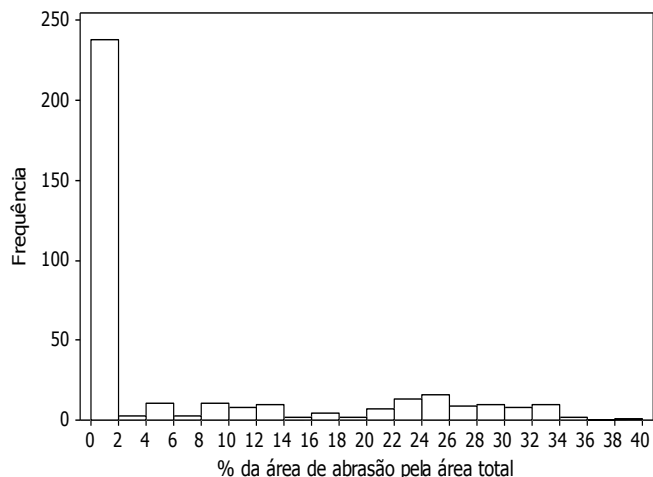
Descrições das porcentagens das áreas de abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual em relação à área total.

Características	n	Média	D.P.	Mínimo	1ºQ	Mediana	3ºQ	Máximo
Abrasão	368	7,1	11,1	0,0	0,0	0,0	12,3	39,4
Cavitação	368	1,3	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	32,6
Ataque Químico	368	4,8	9,7	0,0	0,0	0,0	2,5	33,6
Assoreamento	368	2,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	69,0
Casual	368	1,1	5,4	0,0	0,0	0,0	0,1	49,0

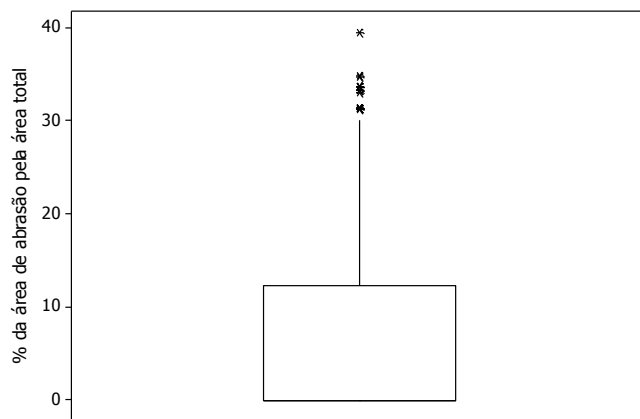
n: n° de observações; D.P: desvio-padrão; 1ºQ: 1º Quartil; 3ºQ: 3º Quartil

Os histogramas das porcentagens das áreas de abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual pela área total são apresentados nas Figuras A.4.1, A.4.3, A.4.5, A.4.7 e A.4.9, respectivamente. Observa-se maior frequência de trechos com área de abrasão, de ataque químico e casual com até 2% da área total, com área de cavitação de até 1,5% da área total e com área de assoreamento de até 2,5% da área total.

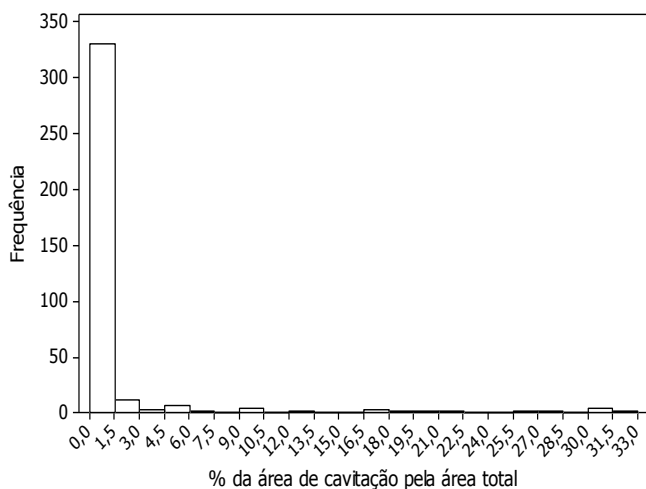
Os *box-plots* destas características são apresentados nas Figuras A.4.2, A.4.4, A.4.6, A.4.8 e A.4.10. Interpretando o *box-plot* referente a área de abrasão, como exemplo, tem-se que os valores para o 1º quartil (1ª linha horizontal, da parte inferior para a superior) e para a mediana (2ª linha horizontal) são iguais, portanto 50% dos trechos das galerias não tinha área de abrasão e 75 % dos trechos tinha até 12,3% de área de abrasão (3ª linha horizontal – 3º Quartil). Observa-se a presença de valores extremos superiores aos demais (*outliers* – indicados pelos asteriscos).



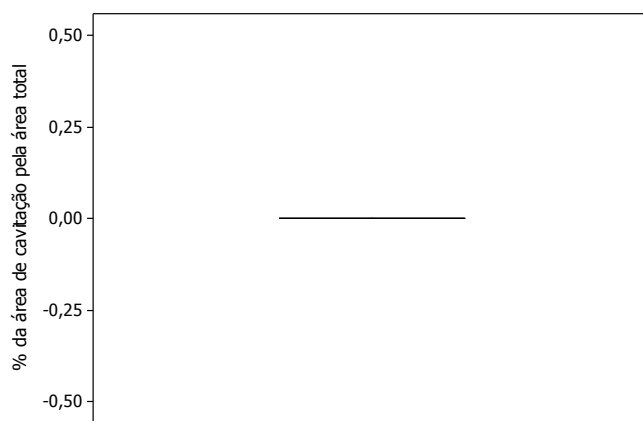
**FIGURA A.4.1:** Histograma da porcentagem da área de abrasão pela área total



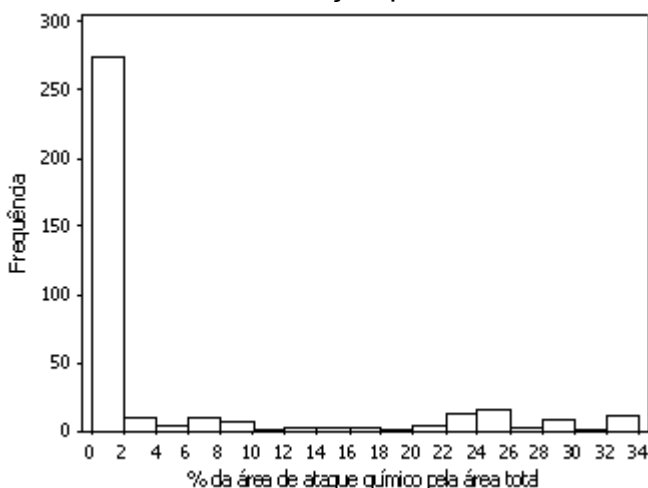
**FIGURA A.4.2:** *Box-plot* da porcentagem da área de abrasão pela área total



**FIGURA A.4.3:** Histograma da porcentagem da área de cavitação pela área total



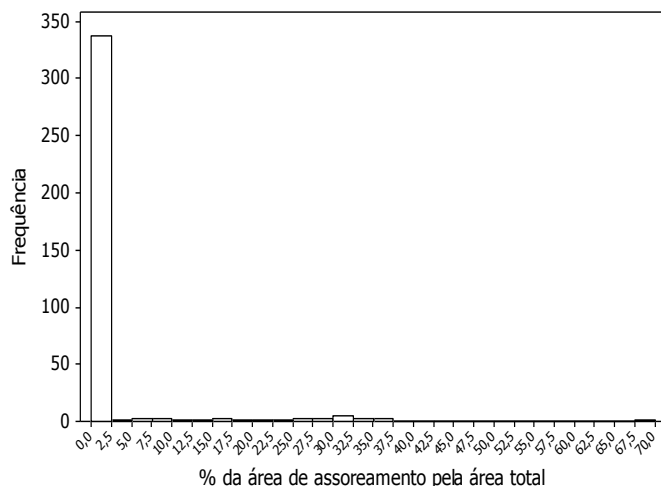
**FIGURA A.4.4:** *Box-plot* da porcentagem da área de cavitação pela área total



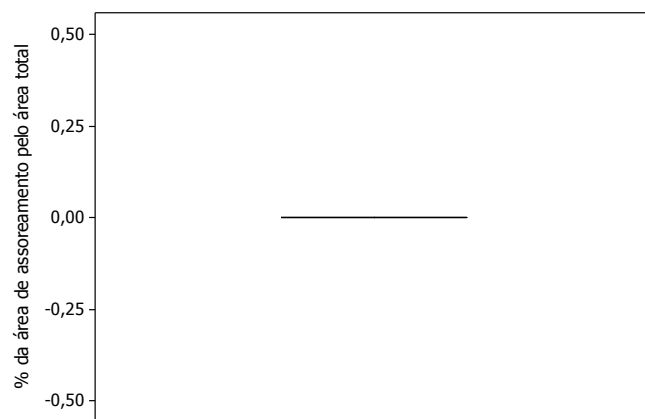
**FIGURA A.4.5:** Histograma da porcentagem da área de ataque químico pela área total



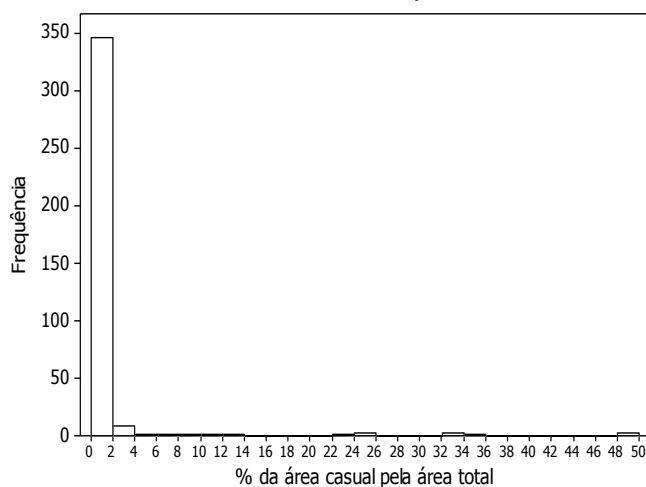
**FIGURA A.4.6:** *Box-plot* da porcentagem da área de ataque químico pela área total



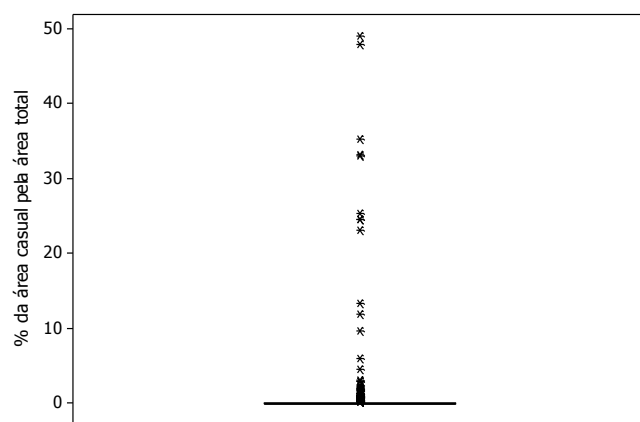
**FIGURA A.4.7:** Histograma da porcentagem da área de assoreamento pela área total



**FIGURA A.4.8:** Box-plot da porcentagem da área de assoreamento pela área total



**FIGURA A.4.9:** Histograma da porcentagem da área casual pela área total



**FIGURA A.4.10:** Box-plot da porcentagem da área casual pela área total

As descrições dos níveis de impacto das áreas de abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual são apresentadas na Tabela A.4.2. Observa-se que 55,2% dos trechos de abrasão não apresentam nível de impacto, 77,5% da cavitação, 67,9% do ataque químico, 91,0% do assoreamento e 72,5% do casual.

**TABELA A.4. 2**

Descrições dos níveis de impacto das áreas de abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual.

Características	Abrasão		Cavitação		Ataque Químico		Assoreamento		Casual	
	N	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Nível de impacto										
0	203	55,2	285	77,5	250	67,9	335	91,0	267	72,5
1	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2	43	11,7	2	0,5	60	16,3	22	6,0	93	25,3
3	107	29,1	17	4,6	45	12,2	11	3,0	7	1,9
4	15	4,1	64	17,4	13	3,5	0	0,0	1	0,3

As descrições do degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade são apresentadas na Tabela A.4.3. Observa-se que dos 368 trechos analisados, 114 (31%) apresentaram degrau e 51 (13,9%) tinham rampa. Quanto à turbidez da água, tem-se que 143 (38,9%) trechos apresentaram nível 1, 92 (25%) nível 2 e 133 (36,1%) nível 3. Para o tipo de sedimentos tem-se que 124 (33,7%) trechos tinham areia, 21 (5,7%) tinham areia e matéria orgânica, 40 (10,9%) tinham argila e matéria orgânica e 183 (49,7%) trechos tinham matéria orgânica. Em relação à classe da declividade tem-se que 93 (25,3%) trechos pertenciam à classe A, 107 (29,2%) à classe B, 127 (34,6%) à classe C, 36 (9,8%) à classe D e 4 (1,1%) trechos pertenciam à classe E.

**TABELA A.4.3**

Descrições do degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade.

Características	Frequência	
	n	%
Degrau		
Sim	114	31,0
Não	254	69,0
Rampa		
Sim	51	13,9
Não	317	86,1
Turbidez da água		
Nível 1	143	38,9
Nível 2	92	25,0
Nível 3	133	36,1
Tipo de sedimento		
Areia	124	33,7
Areia + matéria orgânica	21	5,7
Argila + matéria orgânica	40	10,9
Matéria orgânica	183	49,7
Classe da declividade		
A	93	25,3
B	107	29,2
C	127	34,6
D	36	9,8
E	4	1,1
Sem informação	1	-

A Tabela A.4.4 apresenta as descrições da calha, declividade e idade da galeria. Observa-se que, em média, as calhas tinham 0,2 metros (20 centímetros), tinham declividade de 3,1 e as galerias tinham, aproximadamente, 31 anos.

**TABELA A.4.4**

Descrições da calha, declividade e idade da galeria.

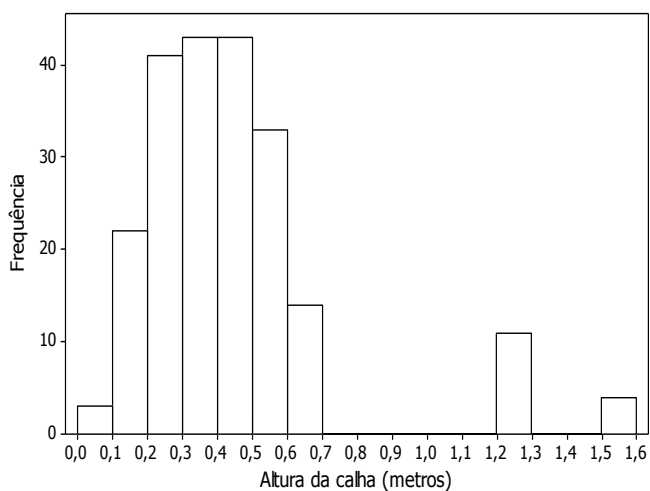
Características	n	n*	Média	D.P.	Mínimo	1ºQ	Mediana	3ºQ	Máximo
Calha	368	0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,2	0,4	1,5
Declividade	367	1	3,1	2,4	0,1	1,1	2,6	4,2	16,6
Idade da galeria (anos)	12	0	31,3	8,9	19,0	21,5	35,0	39,0	44,0

n: n° de observações; n\*: sem informação; D.P: desvio-padrão; 1ºQ: 1º Quartil; 3ºQ: 3º Quartil

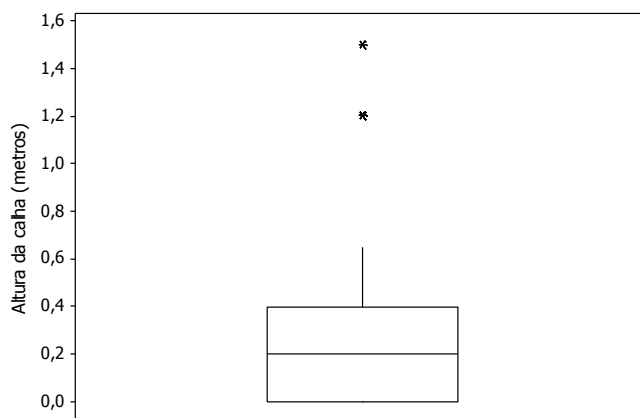
Os histogramas da calha, declividade e idade da galeria são apresentados nas Figuras A.4.11, A.4.13 e A.4.15, respectivamente. Observa-se maior frequência de trechos com calha entre 10 e

60 centímetros, com declividade menor que 5 e idade da galeria entre 20 a 24 anos, entre 32 a 36 e entre 40 e 44 anos.

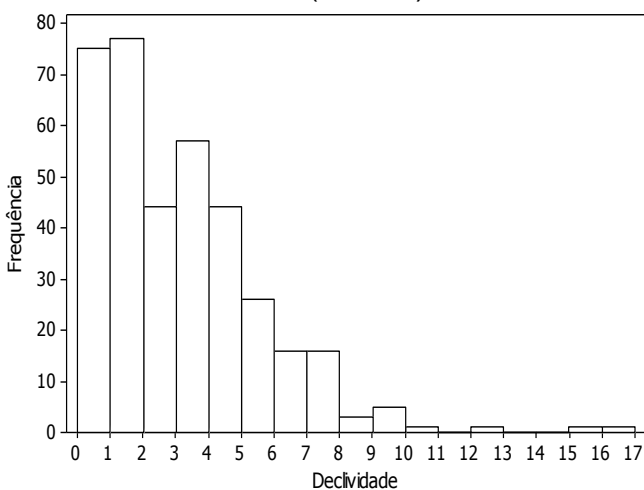
Os *box-plots* destas características são apresentados nas Figuras A.4.12, A.4.14 e A.4.16.



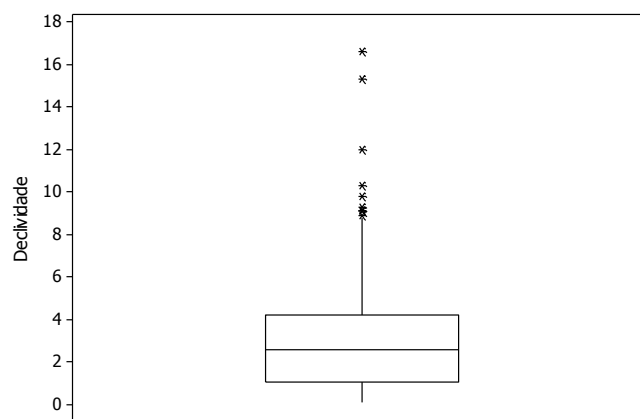
**FIGURA A.4.11:** Histograma da altura da calha (metros)



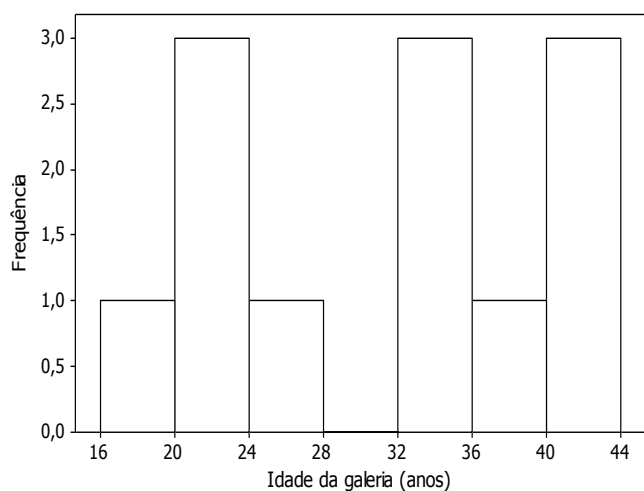
**FIGURA A.4.12:** *Box-plot* da altura da calha (metros)



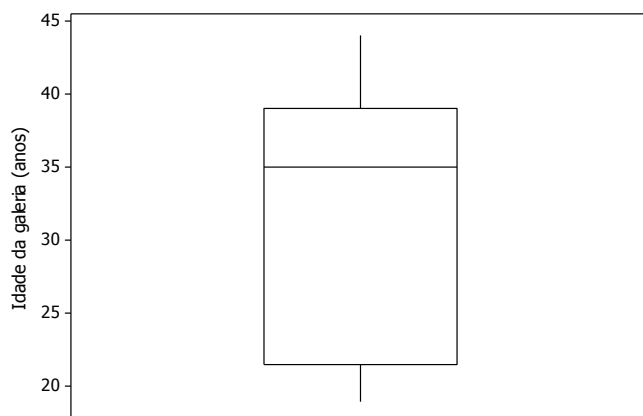
**FIGURA A.4.13:** Histograma da declividade



**FIGURA A.4.14:** *Box-plot* da declividade



**FIGURA A.4.15:** Histograma da idade da galeria (anos)



**FIGURA A.4.16:** *Box-plot* da idade da galeria (anos)

## **Análise Univariada e Multivariada**

### **Abrasão**

#### **Nível de impacto**

A Tabela A.4.5 apresenta a comparação entre o nível de impacto para abrasão e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade. Vale ressaltar que, para abrasão não há nível de impacto 1.

Destaca-se que as comparações do nível de impacto para abrasão com tipo de sedimento e classe da declividade não puderam ser realizadas na forma original (categorização 1, Tabela 5), devido ao grande número de categorias. Portanto, o tipo de sedimento foi agrupado em: areia e areia + matéria orgânica versus outros (indicado por 2). Vale destacar que a categoria 'outros' é a junção de todas as outras. O mesmo foi feito para a classe da declividade. Desta forma, as comparações realizadas foram: A + B versus C versus D + E (indicado por 2).

Por apresentarem valores-p inferiores a 0,25, degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento (classificação indicada por 2) e classe da declividade (classificação indicada por 2) foram selecionadas a participar do ajuste do modelo multivariado.

Interpretado o cruzamento entre degrau e nível de impacto, como exemplo, tem-se que dos 114 trechos com degrau 43 (37,7%) não tinham nível de impacto para abrasão, 21 (18,4%) tinham nível 2, 50 (43,9%) tinham nível 3. Não há registros de nível 4. Entre os 254 trechos sem degrau, 160(63%) não tinham nível de impacto para abrasão, 22 (8,7%) tinham nível 2, 57 (22,4%) nível 3 e 15 (5,9%) tinham nível 4. Como o valor-p deste cruzamento é inferior a 0,001, a característica degrau é indicada a participar do modelo multivariado para o nível de impacto para abrasão.

**TABELA A.4.5**

Comparação do nível de impacto para abrasão e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade

Características	Nível de impacto para abrasão								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
<b>Degrau</b>									
Sim	43	37,7	21	18,4	50	43,9	0	0,0	<0,001 <sup>2</sup>
Não	160	63,0	22	8,7	57	22,4	15	5,9	
<b>Rampa</b>									
Sim	21	41,2	5	9,8	20	39,2	5	9,8	0,030 <sup>2</sup>
Não	182	57,4	38	12,0	87	27,4	10	3,15	
<b>Turbidez da água</b>									
Nível 1	50	35,0	21	14,7	69	48,2	3	2,1	<0,001 <sup>1</sup>
Nível 2	66	71,7	8	8,7	6	6,5	12	13,1	
Nível 3	87	65,4	14	10,5	32	24,1	0	0	
<b>Tipo de sedimento</b>									
1) Areia	78	62,9	24	19,4	22	17,7	0	0,0	...
Areia + matéria orgânica	13	61,9	0	0,0	8	38,1	0	0,0	
Argila + matéria orgânica	19	47,5	0	0,0	21	52,5	0	0,0	
Matéria orgânica	93	50,8	19	10,4	56	30,6	15	8,2	
2) Areia e areia+matéria orgânica	91	62,8	24	16,6	30	20,7	0	0,0	<0,001 <sup>1</sup>
Outros	112	50,2	19	8,5	77	34,5	15	6,7	
<b>Classe da declividade</b>									
1) A	60	64,5	12	12,9	21	22,6	0	0,0	...
B	68	63,5	13	12,2	24	22,4	2	1,9	
C	52	40,9	15	11,8	48	37,8	12	9,5	
D	19	52,8	3	8,3	13	36,1	1	2,8	
E	3	75,0	0	0,0	1	25,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	<0,001 <sup>1</sup>
2) A + B	128	64,0	25	12,5	45	22,5	2	1,0	
C	52	40,9	15	11,8	48	37,8	12	9,5	
D + E	22	55,0	3	7,5	14	35,0	1	2,5	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

As comparações entre nível de impacto para abrasão e calha, declividade e idade da galeria são apresentadas na Tabela A.4.6. Observa-se que as três características foram indicadas a participar do ajuste do modelo multivariado (valor-p  $\leq 0,25$ ).

**TABELA A.4.6**

Comparação entre nível de impacto para abrasão e calha, declividade e idade da galeria.

Nível de impacto para abrasão	Estatísticas descritivas			Valor-p
	Média	D.P.	Mediana	
<b>Calha</b>				
0	0,2	0,2	0,2	<0,001 <sup>1</sup>
2	0,3	0,2	0,4	
3	0,2	0,3	0,0	
4	0,6	0,6	0,5	
<b>Declividade</b>				
0	2,8	2,6	1,9	<0,001 <sup>1</sup>
2	2,5	2,0	2,0	
3	3,7	2,3	3,6	
4	4,0	1,2	3,8	
<b>Idade da galeria (anos)</b>				
0	30,3	7,8	35,0	<0,001 <sup>1</sup>
2	30,8	8,5	35,0	
3	36,7	6,0	40,0	
4	37,0	2,1	36,0	

1: Teste de Kruskal-Wallis

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado as características: degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento (classificação indicada por 2), classe da declividade (classificação indicada por 2), calha, declividade e idade da galeria.

O passo-a-passo do processo para o ajuste do modelo final multivariado é apresentado na Tabela A.4.35. Observa-se que o modelo está bem ajustado, uma vez que o valor-p da Deviance foi igual a 1,000 (valor-p maior que 0,05).

A primeira parte da tabela apresenta os resultados do ajuste do modelo de regressão quando comparado os trechos com nível de impacto 2 em relação aos sem nível (referência).

Desta forma, os trechos com degrau têm cerca de 4 vezes a chance de apresentar nível de impacto 2 do que aqueles sem degraus (valor-p=0,003). Não se observa diferença com significância estatística entre os trechos com e sem rampa.

A chance dos trechos com turbidez da água nível 2 não apresentar nível de impacto para abrasão é 2,5 (OR= 1/0,4) vezes a chance de apresentar turbidez de nível 1(valor-p= 0,044). Não se observa diferença com significância estatística entre aqueles com níveis de turbidez da água 3 em relação ao nível de referência (valor-p=0,126).

Verifica-se que o aumento de uma unidade na declividade acarreta no acréscimo de 25% (OR=1/0,8-1) na chance do trecho não apresentar nível de impacto em relação aquelas que apresentam nível de impacto 2 (valor-p=0,031).

Valores-p superiores a 5% são observados para calha e idade da galeria indicando que estas características não estão associadas ao nível de impacto 2 em relação aos trechos sem nível.

Já a segunda parte da tabela apresenta os resultados das comparações entre o trecho com nível 3 em relação ao sem nível de impacto.

Assim, conclui-se que os trechos com rampa têm, aproximadamente, 3 vezes a chance de apresentar nível de impacto 3 para abrasão do que aqueles sem rampa (valor-p=0,011).

Os trechos com níveis 2 e 3 para turbidez da água têm menor chance (OR=0,1 e 0,4) de apresentar nível de impacto 3 do que aqueles com nível de turbidez 1 (valor-p<0,001 e valor-p=0,020, respectivamente).

Verifica-se que o aumento de um ano na idade da galeria acarreta no acréscimo de 10% na chance do trecho apresentar nível de impacto 3 para abrasão em relação aos trechos que não apresentam nível de impacto.

Valores-p superiores a 5% são observados para degrau, calha e declividade da galeria indicando que estas características não estão associadas ao nível de impacto 3 para abrasão em relação aos trechos sem nível.

Por fim, a terceira parte da tabela apresenta os resultados das comparações entre os trechos com nível 4 e aqueles sem nível.

Verifica-se que o acréscimo de uma unidade na calha acarreta em aumento expressivo na chance do trecho apresentar nível de impacto 4 em relação aos trechos sem nível de impacto.

Não se observa diferença com significância estatística para as demais características (valor-p > 0,05).

A Tabela A.4.7 apresenta o modelo final de regressão politômica para o nível de impacto para a abrasão.

**TABELA A.4.7**

Modelo final de regressão politômica – Nível de impacto para abrasão

Modelo	Nível de impacto para abrasão			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-0,9	0,295		
Degrau				
Sim	1,4	<b>0,003</b>	4,2	1,7 a 10,6
Não			1,0	
Rampa				
Sim	0,9	0,135	2,4	0,8 a 7,6
Não			1,0	
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-1,0	<b>0,044</b>	0,4	0,1 a 0,99
Nível 3	-0,8	0,126	0,5	0,2 a 1,2
Calha	0,9	0,147	2,6	0,7 a 9,2
Declividade	-0,2	<b>0,031</b>	0,8	0,6 a 1,0
Idade da galeria (anos)	-0,01	0,700	1,0	0,9 a 1,0
<b>3 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-3,6	<0,001		
Degrau				
Sim	0,4	0,309	1,5	0,7 a 3,0
Não			1,0	
Rampa				
Sim	1,1	<b>0,011</b>	2,9	1,3 a 6,6
Não			1,0	
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-2,7	<b>&lt;0,001</b>	0,1	0,02 a 0,2
Nível 3	-0,8	<b>0,020</b>	0,4	0,2 a 0,9
Calha	-0,1	0,917	1,0	0,3 a 2,7
Declividade	-0,04	0,518	1,0	0,9 a 1,1
Idade da galeria (anos)	0,1	<b>&lt;0,001</b>	1,1	1,01 a 1,2
<b>4 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-26,7	0,118		
Degrau				
Sim	-19,6	0,994	0,0	*
Não			1,0	
Rampa				
Sim	0,3	0,713	1,3	0,3 a 5,7
Não			1,0	
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	2,7	0,214	14,6	0,2 a 1.000,4
Nível 3	-16,4	0,997	0,0	*
Calha	2,7	<b>0,002</b>	14,2	2,6 a 79,6
Declividade	0,2	0,148	1,3	0,9 a 1,8
Idade da galeria (anos)	0,6	0,155	1,8	0,8 a 4,0

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

### Área de abrasão ponderada pela área total

As comparações entre área de abrasão ponderada pela a área total em relação ao degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento, classe da declividade, calha declividade e idade da galeria (anos) são apresentadas na Tabela A.4.8.

Observa-se que as características rampa, turbidez da água, tipo de sedimento, classe de declividade (ambas as formas) e idade da galeria apresentaram, em pelo menos uma das

categorias no caso das variáveis qualitativas, valores-p inferiores a 0,25 e por isto foram indicadas a participar do ajuste no modelo inicial multivariado.

**TABELA A.4.8**

Comparação da área de abrasão ponderada pela área total em relação às características de interesses.

<b>Características</b>	<b>Coef.</b>	<b>E.P</b>	<b>Valor-p</b>
<b>Catégoricas</b>			
Degrau			
Sim	0,1	0,1	0,324 <sup>1</sup>
Não			
Rampa			
Sim	0,3	0,2	<b>0,039<sup>1</sup></b>
Não			
Turbidez da água			
Nível 1			
Nível 2	-0,7	0,2	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
Nível 3	-0,8	0,2	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
Tipo de sedimento			
Areia	-1,0	0,2	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
Areia + matéria orgânica	-0,4	0,3	<b>0,250<sup>1</sup></b>
Argila + matéria orgânica	0,02	0,2	0,918 <sup>1</sup>
Matéria orgânica			
Classe da declividade			
A			
B	0,2	0,2	0,506 <sup>1</sup>
C	0,6	0,2	<b>0,001<sup>1</sup></b>
D	1,0	0,3	<b>0,001<sup>1</sup></b>
E	1,1	0,9	0,214 <sup>1</sup>
<b>Quantitativas</b>			
Calha	-0,04	0,3	0,878 <sup>1</sup>
Declividade	0,2	0,1	<b>0,054<sup>1</sup></b>
Idade da galeria (anos)	0,1	0,01	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>

Coef: coeficiente; E.P: Erro Padrão; 1: Modelo Beta Inflacionário.

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado as características rampa, turbidez da água, tipo de sedimentos, classe da declividade, calha, declividade e idade da galeria, que apresentaram valor-p inferior a 0,25.

Foram ajustados dois modelos, sendo o primeiro (Tabela A.4.9) composto por turbidez da água e idade da galeria e o segundo com as características tipo de sedimentos e idade da galeria (Tabela A.4.10).

O processo de ajuste do modelo multivariado é apresentado na Tabela A.4.36 do anexo.

Interpretando o modelo I, observa-se que a chance de ocorrer trechos com a turbidez da água classificada no nível 1 é 2 vezes (OR=1/0,5) a chance daqueles trechos classificados com níveis 2 ou 3.

Verifica-se que a cada acréscimo de um ano na idade da galeria a chance dos trechos terem proporção de área de abrasão em relação à área total é acrescida em 5%.

Assim, tem-se que a proporção média da área de abrasão em relação à área total é maior entre os trechos com nível 1 de turbidez em relação aos níveis 2 e 3 e entre aqueles trechos com maior idade da galeria.

**TABELA A.4.9**

Modelo Beta Inflacionário I - Área de abrasão.

Modelo I	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-3,3	0,4	<0,001			
Turbidez da água						
Nível 1				1,0		
Nível 2	-0,7	0,2	<0,001	0,5	0,3	0,7
Nível 3	-0,6	0,2	<0,001	0,5	0,4	0,7
Idade da galeria (anos)	0,05	0,01	<0,001	1,05	1,03	1,07

Interpretando o segundo modelo observa-se que a chance de ocorrer trechos com matéria orgânica é 2 vezes a chance daqueles com areia. Não se observa diferença significativa entre o tipo de sedimento areia + matéria orgânica e argila + matéria orgânica em relação à matéria orgânica (referência).

Verifica-se que a cada acréscimo de um ano na idade da galeria a chance dos trechos terem proporção de área de abrasão em relação à área total é acrescida em 4%.

Assim, tem-se que a proporção média da área de abrasão em relação à área total é maior entre os trechos com matéria orgânica como tipo de sedimento em relação aos trechos com areia, e entre aqueles trechos com maior idade da galeria.

**TABELA A.4.10**

Modelo Beta Inflacionário II - Área de abrasão.

Modelo II	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-3,7	0,7	<0,001			
Tipo de sedimento						
Areia	-0,6	0,2	<b>0,011</b>	0,5	0,3	0,9
Areia + matéria orgânica	-0,6	0,3	0,064	0,5	0,3	1,0
Argila + matéria orgânica	0,2	0,2	0,413	1,2	0,8	1,21
Matéria orgânica				1,0		
Idade da galeria (anos)	0,04	0,01	<b>0,013</b>	1,04	1,01	1,08

## **Cavitação**

### **Nível de impacto**

A comparação do nível de impacto para cavitação e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade é apresentada na Tabela A.4.11. Vale ressaltar que, para a cavitação não há nível de impacto 1.

Destaca-se que as comparações do nível de impacto para cavitação com tipo de sedimento e classe da declividade não puderam ser realizadas na forma original (categorização 1, Tabela A.4.11), devido ao grande número de categorias. Portanto, o tipo de sedimento foi agrupado em: areia e areia + matéria orgânica versus outros (indicado por 2). Vale destacar que a categoria 'outros' é a junção de todas as outras.

O mesmo foi feito para a classe da declividade. Desta forma, as comparações realizadas foram: A + B versus C versus D + E (indicado por 2).

Assim, observa-se que, por apresentarem valores-p inferiores a 0,25, todas as características foram indicadas a participar do modelo multivariado.

Interpretando o cruzamento entre rampa e nível de impacto, como exemplo, tem-se que dos 51 trechos com rampa 18 (35,3%) não tinham nível de impacto para cavitação, 4 (7,8%) tinham nível 3 e 29 (56,9%) tinham nível 4. Entre os 317 trechos sem rampa, 267 (84,2%) não tinha nível de impacto para cavitação, 2 (0,6%) tinham nível 2, 13 (4,1%) tinham nível 3 e 35 (11,1%) tinham nível 4. Como o valor-p deste cruzamento é inferior a 0,001 tem-se que ele é indicado a participar do ajuste do modelo multivariado.

**TABELA A.4.11**

Comparação do nível de impacto para cavitação e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade.

Características	Nível de impacto para cavitação								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Degrau									
Sim	67	58,8	2	1,7	8	7,0	37	32,5	<0,001 <sup>2</sup>
Não	218	85,8	0	0,0	9	3,5	27	10,6	
Rampa									
Sim	18	35,3	0	0,0	4	7,8	29	56,9	<0,001 <sup>2</sup>
Não	267	84,2	2	0,6	13	4,1	35	11,1	
Turbidez da água									
Nível 1	103	72,0	2	1,4	11	7,7	27	18,9	<0,001 <sup>2</sup>
Nível 2	66	71,7	0	0,0	0	0,0	26	28,3	
Nível 3	116	87,2	0	0,0	6	4,5	11	8,3	
Tipo de sedimento									
1) Areia	120	96,8	0	0,0	3	2,4	1	0,8	...
Areia + matéria orgânica	14	66,7	0	0,0	6	28,6	1	4,7	
Argila + matéria orgânica	23	57,5	0	0,0	6	15,0	11	27,5	
Matéria orgânica	128	69,9	2	1,1	2	1,1	51	27,9	
Tipo de sedimento									
2) Areia e areia+matéria orgânica	134	92,4	0	0,0	9	6,2	2	1,4	<0,001 <sup>2</sup>
Outros	151	67,7	2	0,9	8	3,6	62	27,8	
Classe da declividade									
1) A	91	97,9	0	0,0	0	0,0	2	2,1	...
B	84	78,5	2	1,9	6	5,6	15	14,0	
C	80	63,0	0	0,0	11	8,7	36	28,3	
D	25	69,4	0	0,0	0	0,0	11	30,6	
E	4	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	
2) A + B	175	87,5	2	1,0	6	3,0	17	8,5	0,001 <sup>2</sup>
C	80	63,0	0	0,0	11	8,7	36	28,3	
D + E	29	72,5	0	0,0	0	0,0	11	27,5	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

A comparação entre nível de impacto para cavitação e calha, declividade e idade da galeria é apresentada na Tabela A.4.12. Observa-se que as três características são indicadas a participar do modelo multivariado inicial (valor-p  $\leq 0,25$ ).

**TABELA A.4.12**

Comparação entre nível de impacto para cavitação e calha, declividade e idade da galeria.

Nível de impacto para cavitação	Estatísticas descritivas			Valor-p
	Média	D.P.	Mediana	
<b>Calha</b>				
0	0,2	0,3	0,2	0,059 <sup>1</sup>
2	0,2	0,0	0,2	
3	0,2	0,2	0,3	
4	0,2	0,3	0,0	
<b>Declividade</b>				
0	2,8	2,5	1,9	<0,001 <sup>1</sup>
2	2,1	0,5	2,1	
3	3,4	1,2	3,4	
4	4,3	1,8	4,1	
<b>Idade da galeria (anos)</b>				
0	31,1	8,1	35,0	<0,001 <sup>1</sup>
2	35,0	0,0	35,0	
3	36,4	8,3	35,0	
4	37,3	3,1	36,0	

1: Teste de Kruskal-Wallis

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado: degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimentos (categorização indicada por 2), classe da declividade (categorização indicada por 2), calha, declividade e idade da galeria.

O passo-a-passo do processo para o ajuste do modelo final multivariado é apresentado na Tabela A.4.37 do Anexo. Ressalta-se que o modelo está bem ajustado, uma vez que o valor-p da Deviance foi igual a 0,740 (valor-p maior que 0,05).

A primeira parte da tabela apresenta os resultados do ajuste do modelo de regressão quando comparado o nível de impacto 2 para cavitação versus sem nível de impacto. Observa-se valor-p maior que 5% para todas as características o que indica não associação estatística destas características com a classificação do nível de impacto para cavitação 2 em relação aos trechos sem nível de impacto.

Na segunda parte da tabela são apresentados os resultados do ajuste do modelo comparando o nível de impacto 3 com os trechos sem nível de impacto.

Verifica-se que trechos com rampa têm, aproximadamente, 7 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 3 do que aqueles sem rampa (valor-p=0,006).

Não se observa diferença com significância estatística (valor-p > 0,05) entre trechos com e sem degrau, do nível 2 e 3 de turbidez da água em relação ao nível 1, calha e a idade da galeria quando se comparado nível de impacto 3 em relação aos trechos sem nível.

A terceira parte da tabela apresenta os resultados do ajuste do modelo de regressão politômica comparando o nível de impacto 4 com e os trechos sem nível.

Verifica-se que a chance de trechos com degrau apresentarem nível de impacto 4 é cerca de 10 vezes a chance daqueles trechos sem degrau (valor-p<0,001).

Os trechos com rampa têm, cerca de, 22 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 4 do que aqueles sem rampa (valor-p<0,001).

Os trechos com nível 2 de turbidez da água têm cerca de 4 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 4 em relação aqueles com nível 1 de turbidez (valor-p=0,008). Não se observa diferença com significância estatística entre trechos com níveis de turbidez da água 1 e 3 (valor-p=0,348).

Nota-se que não há associação da calha com nível de impacto 4 para cavitação.

A Tabela A.4.13 apresenta o modelo final de regressão politômica para o nível de impacto para a cavitação. Verifica-se que o aumento de um ano na idade da galeria acarreta no acréscimo de 20% na chance do trecho apresentar nível de impacto 4 em relação aos trechos sem nível.

**TABELA A.4.13**

Modelo final de regressão politômica – Nível de impacto para cavitação

Modelo	Nível de impacto para cavitação			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-21,0	0,998		
Degrau				
Sim	20,4	0,998	*	*
Não			1,0	
Rampa				
Sim	-18,0	0,999	0,0	*
Não			1,0	
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-18,9	0,999	0,0	*
Nível 3	-18,6	0,999	0,0	*
Calha	-2,7	0,544	0,1	0,0 a 390,9
Idade da galeria (anos)	-0,1	0,634	0,9	0,7 a 1,2
<b>3 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-5,5	<b>0,003</b>		
Degrau				
Sim	0,8	0,236	2,1	0,6 a 7,5
Não			1,0	
Rampa				
Sim	1,9	<b>0,006</b>	6,5	1,7 a 25,0
Não			1,0	
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-20,5	0,998	0,0	*
Nível 3	-0,2	0,816	0,8	0,2 a 3,2
Calha	-0,1	0,890	0,9	0,2 a 4,6
Idade da galeria (anos)	0,1	0,123	1,1	1,0 a 1,2
<b>4 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-9,1	<b>&lt;0,001</b>		
Degrau				
Sim	2,3	<b>&lt;0,001</b>	10,1	4,0 a 25,4
Não			1,0	
Rampa				
Sim	3,1	<b>&lt;0,001</b>	21,8	8,6 a 55,3
Não			1,0	
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	1,3	<b>0,008</b>	3,6	1,4 a 9,3
Nível 3	0,5	0,348	1,7	0,6 a 5,3
Calha	-0,8	0,166	0,5	0,2 a 1,4
Idade da galeria (anos)	0,2	<b>0,008</b>	1,2	1,01 a 1,3

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

### Área de cavitação ponderada pela área total

As comparações entre área de cavitação ponderada pela a área total em relação ao degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento, classe da declividade, calha, declividade e idade da galeria (anos) são apresentadas na Tabela A.4.14.

Observa-se que todas as características, com exceção degrau, apresentaram, em pelo menos uma das categorias no caso das variáveis qualitativas, valor-p inferior a 0,25, o que indica que estas características foram indicadas a participar do ajuste no modelo inicial multivariado.

**TABELA A.4.14**

Comparação da área de cavitação ponderada pela área total em relação às características de interesses.

<b>Características</b>	<b>Coef.</b>	<b>E.P</b>	<b>Valor-p</b>
<b>Catégoricas</b>			
Degrau			
Sim	0,2	0,2	0,469 <sup>1</sup>
Não			
Rampa			
Sim	-0,3	0,2	<b>0,178<sup>1</sup></b>
Não			
Turbidez da água			
Nível 1			
Nível 2	-0,7	0,2	<b>0,002<sup>1</sup></b>
Nível 3	-0,3	0,3	<b>0,212<sup>1</sup></b>
Tipo de sedimento			
Areia	-0,4	0,5	0,387 <sup>1</sup>
Areia + matéria orgânica	1,2	0,3	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
Argila + matéria orgânica	0,1	0,3	0,800 <sup>1</sup>
Matéria orgânica			
Classe da declividade			
A			
B	-0,3	0,7	0,688 <sup>1</sup>
C	-0,1	0,6	0,900 <sup>1</sup>
D	0,6	0,7	0,322 <sup>1</sup>
E	-2,3	2,4xe <sup>9</sup>	1,000 <sup>1</sup>
<b>Quantitativas</b>			
Calha	0,9	0,3	<b>0,014<sup>1</sup></b>
Declividade	0,2	0,1	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
Idade da galeria (anos)	0,1	0,02	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>

Coef: coeficiente; E.P:Erro Padrão; 1: Modelo Beta Inflacionário.

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado as características: rampa, turbidez da água, tipo de sedimentos, calha, declividade e idade da galeria (valor-p  $\leq$  0,25). Foram ajustados dois modelos, sendo o primeiro (Tabela A.4.15) composto turbidez da água, calha, declividade e idade da galeria (anos) e o segundo (Tabela A.4.16) composto por tipo de sedimento, calha, declividade e idade da galeria (anos). O processo de ajuste do modelo multivariado é apresentado na Tabela A.4.38 do anexo.

Interpretando o primeiro modelo, observa-se que a chance de ocorrer trechos com turbidez da água de nível 1 é, aproximadamente, 2 vezes a chance dos trechos com nível 2. Não se observa diferença significativa entre nível 3 e nível 1 (referência).

A cada acréscimo de uma unidade na calha ou na declividade a chance dos trechos terem proporções de área por cavitação são acrescidas de 110% e 20%, respectivamente. Verifica-se que a cada acréscimo de um ano na idade da galeria a chance dos trechos terem proporção de

área por cavitação em relação à área total é aumentada em 10%. Assim, tem-se que a proporção média da área por cavitação em relação à área total é maior entre os trechos de nível 1 (em relação ao 2), com maior valor de calha, declividade e idade.

**TABELA A.4.15**

Modelo Beta Inflacionário - Área por cavitação.

Modelo I	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC <sub>95%</sub>	
					Inferior	Superior
Constante	-6,9	1,3	<0,001			
Turbidez da água						
Nível 1				1,0		
Nível 2	-0,5	0,3	<b>0,033</b>	0,6	0,4	0,9
Nível 3	-0,03	0,3	0,918	1,0	0,5	1,7
Calha	0,7	0,3	<b>0,006</b>	2,1	1,2	3,4
Declividade	0,2	0,1	<b>0,002</b>	1,2	1,1	1,3
Idade da galeria (anos)	0,1	0,03	<b>0,003</b>	1,1	1,02	1,2

Interpretando o segundo modelo observa-se que a chance de ocorrer trechos com areia é, aproximadamente, 12 vezes a chance daqueles com matéria orgânica. Não se observa diferença significativa entre o tipo de sedimento areia + matéria orgânica e argila + matéria orgânica em relação à matéria orgânica (referência).

A cada acréscimo de uma unidade na calha ou na declividade a chance dos trechos terem proporções de área por cavitação são acrescidas de 120% e 30%, respectivamente. Verifica-se que a cada acréscimo de um ano na idade da galeria a chance dos trechos terem proporção de área por cavitação em relação à área total é aumentada em 20%. Assim, tem-se que a proporção média da área por cavitação em relação à área total é maior entre os trechos com areia, com maior valor de calha, declividade e idade.

**TABELA A.4.16**

Modelo Beta Inflacionário - Área por cavitação.

Modelo II	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC <sub>95%</sub>	
					Inferior	Superior
Constante	-11,3	2,1	<0,001			
Tipo de sedimento						
Areia	2,5	2,3	<b>0,024</b>	12,3	1,4	108,6
Areia + matéria orgânica	0,4	1,0	0,333	1,6	0,6	3,8
Argila + matéria orgânica	0,6	2,0	0,052	1,8	1,0	3,4
Matéria orgânica				1,0		
Calha	0,8	0,3	<b>0,004</b>	2,2	1,3	3,7
Declividade	0,2	0,1	<b>&lt;0,001</b>	1,3	1,1	1,4
Idade da galeria (anos)	0,2	0,1	<b>0,001</b>	1,2	1,1	1,3

## **Ataque químico**

### **Nível de impacto**

A Tabela A.4.17 apresenta a comparação do nível de impacto para ataque químico e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade. Vale ressaltar que, para ataque químico não há nível de impacto 1.

Destaca-se que as comparações do nível de impacto para ataque químico com turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade não puderam ser realizadas na forma original (categorização 1, Tabela A.4.17), devido ao grande número de categorias. Portanto, a turbidez da água foi agrupada em: nível 1 versus outros (indicado por 2), nível 2 versus outros (indicado por 3) e nível 3 versus outros (indicado por 4).

O tipo de sedimento foi agrupado em: areia e areia + matéria orgânica versus outros (indicado por 2). Vale destacar que a categoria 'outros' é a junção de todas as outras.

O mesmo foi feito para a classe da declividade. Desta forma, as comparações realizadas foram: A + B versus C versus D + E (indicado por 2).

Tem-se que degrau, rampa, turbidez da água (categorizações indicadas por 2, 3 e 4), tipo de sedimento (categorização indicada por 2), classe da declividade (categorização indicada por 2) foram as características selecionadas a participarem do modelo multivariado ( $\text{valor-p} \leq 0,25$ ).

Interpretando o cruzamento entre degrau e nível de impacto, como exemplo, tem-se que dos 114 trechos com degrau 60 (52,6%) não tinham nível de impacto para ataque químico, 24 (21,1%) tinham nível 2, 19 (16,7%) tinham nível 3 e 11 (9,6%) tinham nível 4. Entre os 254 trechos sem degraus 190 (74,8%) não tinham nível de impacto para ataque químico, 36 (14,2%) tinham nível 2, 26 (10,2%) tinham nível 3 e 2 (0,8%) tinham nível 4. Como o valor-p deste cruzamento foi inferior a 0,001, tem-se que esta característica foi indicada a participar do modelo multivariado.

**TABELA A.4.17**

Comparação entre o nível de impacto para ataque químico e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade

Características	Nível de impacto para ataque químico								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Degrau									
Sim	60	52,6	24	21,1	19	16,7	11	9,6	<0,001 <sup>2</sup>
Não	190	74,8	36	14,2	26	10,2	2	0,8	
Rampa									
Sim	19	37,3	15	29,4	17	33,3	0	0,0	<0,001 <sup>2</sup>
Não	231	72,9	45	14,2	28	8,8	13	4,1	
Turbidez da água									
1) Nível 1	84	58,7	27	18,9	19	13,3	13	9,1	...
Nível 2	65	70,6	13	14,1	14	15,2	0	0,0	
Nível 3	101	75,9	20	15,0	12	9,0	0	0,0	
2) Nível 1	84	58,7	27	18,9	19	13,3	13	9,1	<0,001 <sup>1</sup>
Outros	166	73,8	33	14,7	26	11,5	0	0,0	
3) Nível 2	65	70,6	13	14,1	14	15,2	0	0,0	0,100 <sup>2</sup>
Outros	185	67,0	47	17,0	31	11,3	13	4,7	
4) Nível 3	101	75,9	20	15,0	12	9,0	0	0,0	0,005 <sup>2</sup>
Outros	149	63,5	40	17,0	33	14,0	13	5,5	
Tipo de sedimento									
1) Areia	106	85,5	15	12,1	3	2,4	0	0,0	...
Areia + matéria orgânica	17	80,9	4	19,1	0	0,0	0	0,0	
Argila + matéria orgânica	23	57,5	6	15,0	11	27,5	0	0,0	
Matéria orgânica	104	56,9	35	19,1	31	16,9	13	7,1	
2) Areia e areia+matéria orgânica	123	84,8	19	13,1	3	2,1	0	0,0	<0,001 <sup>1</sup>
Outros	127	57,0	41	18,4	42	18,8	13	5,8	
Classe da declividade									
1) A	73	78,5	14	15,5	5	5,4	1	1,1	...
B	78	72,9	17	15,9	10	9,3	2	1,9	
C	73	57,5	22	17,3	24	18,9	8	6,3	
D	21	58,3	7	19,4	6	16,7	2	5,6	
E	4	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	
2) A + B	151	75,5	31	15,5	15	7,5	3	1,5	0,006 <sup>1</sup>
C	73	57,5	22	17,3	24	18,9	8	6,3	
D + E	25	62,5	7	17,5	6	15,0	2	5,0	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

A Tabela A.4.18 apresenta a comparação entre nível de impacto para ataque químico e calha, declividade e idade da galeria. Observa-se que as três características foram indicadas a participar do ajuste do modelo multivariado (valor-p  $\leq$  0,25).

**TABELA A.4.18**

Comparação entre nível de impacto para ataque químico e calha, declividade e idade da galeria.

Nível de impacto para ataque químico	Estatísticas descritivas			Valor-p
	Média	D.P.	Mediana	
<b>Calha</b>				
0	0,2	0,2	0,2	<b>0,003<sup>1</sup></b>
2	0,3	0,4	0,2	
3	0,3	0,5	0,2	
4	0,0	0,0	0,0	
<b>Declividade</b>				
0	2,9	2,5	2,0	<b>0,001<sup>1</sup></b>
2	3,2	2,6	2,9	
3	3,9	2,1	3,9	
4	4,2	1,7	4,8	
<b>Idade da galeria (anos)</b>				
0	30,1	8,2	35,0	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
2	37,4	3,5	36,0	
3	36,7	4,2	36,0	
4	40,0	0,0	40,0	

1: Teste de Kruskal-Wallis

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado as características degrau, rampa, turbidez da água (indicadas pelas categorizações 2, 3 e 4), tipo de sedimento (indicada pela categorização 2), classe da declividade (indicada pela categorização 2), calha, declividade e idade da galeria.

O passo-a-passo do processo para o ajuste do modelo final multivariado é apresentado na Tabela A.4.39 do Anexo. Verifica-se que o modelo está bem ajustado, uma vez que do valor-p da Deviance foi igual a 0,113 (valor-p maior que 0,05).

A primeira parte da tabela apresenta os resultados do ajuste do modelo de regressão quando comparado os trechos com nível de impacto 2 para ataque químico e os trechos sem nível de impacto.

Desta forma, os trechos com rampa têm, aproximadamente, 3 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 2 que aqueles sem rampa (valor-p=0,003).

Não se observa diferença com significância estatística para o nível de impacto entre os trechos com ou sem degraus (valor-p = 0,822).

Tem-se que cada acréscimo de uma unidade na calha acarreta no aumento de 250% na chance do trecho apresentar nível 2 (valor-p=0,016).

Verifica-se que o aumento de um ano na idade da galeria acarreta no acréscimo de 20% na chance dos trechos apresentarem nível 2 para ataque químico em relação aqueles trechos sem nível.

Já a segunda parte da tabela apresenta os resultados das comparações entre os trechos com nível de impacto 3 em relação aos trechos sem nível de impacto.

Não se observa diferença com significância estatística no nível de impacto para os trechos com ou sem degraus (valor-p= 0,233).

Os trechos com rampa têm cerca de 7 vezes a chance de apresentar nível de impacto 3 em relação aos trechos sem rampa.

Tem-se que cada acréscimo de uma unidade na calha acarreta no aumento de 430% na chance do trecho apresentar nível 3 em relação aos trechos sem nível (valor-p=0,016).

Verifica-se que o aumento de um ano na idade da galeria acarreta no acréscimo de 20% na chance do trecho apresentar nível 3 em relação aquelas que não apresentam nível de impacto.

Por fim, a terceira parte da tabela apresenta os resultados das comparações entre os trechos com nível de impacto 4 e aqueles sem nível de impacto.

Verifica-se que a chance dos trechos com degraus apresentarem nível 4 para ataque químico é, aproximadamente, 7 vezes a chance daqueles sem nível de impacto (valor-p=0,033).

Não se observa diferença com significância estatística para rampa (valor-p=0,998), calha (valor-p=0,984) e a idade da galeria (valor-p=0,134) não estão associadas com o nível 4 para ataque químico.

**TABELA A.4.19**

Modelo final de regressão politômica – Nível de impacto para ataque químico

Modelo	Nível de impacto para ataque químico			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação sem grau</b>				
Constante	-8,7	<0,001		
Degrau				
Sim	0,1	0,822	1,1	0,5 a 2,2
Não			1,0	
Rampa				
Sim	1,2	<b>0,003</b>	3,3	1,5 a 7,3
Não			1,0	
Calha	1,2	<b>0,016</b>	3,5	1,3 a 9,6
Idade da galeria (anos)	0,2	<0,001	1,2	1,1 a 1,3
<b>3 em relação sem grau</b>				
Constante	-7,4	<0,001		
Degrau				
Sim	0,5	0,233	1,6	0,7 a 3,5
Não			1,0	
Rampa				
Sim	1,9	<0,001	6,8	3,0 a 15,7
Não			1,0	
Calha	1,7	<b>0,002</b>	5,3	1,8 a 15,6
Idade da galeria (anos)	0,1	<0,001	1,2	1,1 a 1,2
<b>4 em relação sem grau</b>				
Constante	-12,8	0,057		
Degrau				
Sim	1,9	<b>0,033</b>	6,9	1,2 a 40,3
Não			1,0	
Rampa				
Sim	-19,2	0,998	0,0	*
Não			1,0	
Calha	-262,0	0,984	0,0	*
Idade da galeria (anos)	0,3	0,134	1,3	0,9 a 1,8

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

### Área de ataque químico ponderada pela área total

As comparações entre área do ataque químico ponderada pela área total em relação ao degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento, classe da declividade, calha declividade e idade da galeria (anos) são apresentadas na Tabela A.4.20.

Observa-se as características turbidez da água, tipo de sedimento e calha apresentaram, em pelo menos uma das categorias nos casos de variáveis qualitativas, valor-p inferior a 0,25, o que indica que estas características foram indicadas a participar do ajuste no modelo inicial multivariado.

**TABELA A.4.20**

Comparação da área de ataque químico ponderada pela área total em relação às características de interesses.

<b>Características</b>	<b>Coef.</b>	<b>E.P</b>	<b>Valor-p</b>
<b>Catégoricas</b>			
Degrau			
Sim	-0,1	0,2	0,455 <sup>1</sup>
Não			
Rampa			
Sim	0,1	0,2	0,694 <sup>1</sup>
Não			
Turbidez da água			
Nível 1			
Nível 2	-0,7	0,2	< <b>0,001</b> <sup>1</sup>
Nível 3	0,1	0,2	0,628 <sup>1</sup>
Tipo de sedimento			
Areia	-0,3	0,2	<b>0,169</b> <sup>1</sup>
Areia + matéria orgânica	-0,6	0,5	<b>0,197</b> <sup>1</sup>
Argila + matéria orgânica	1,0	0,2	< <b>0,001</b> <sup>1</sup>
Matéria orgânica			
Classe da declividade			
A	-0,03	0,3	0,885 <sup>1</sup>
B	-0,01	0,2	0,944 <sup>1</sup>
C	0,28	0,3	0,371 <sup>1</sup>
D	-1,87	6,7xe <sup>8</sup>	1,000 <sup>1</sup>
E			
<b>Quantitativas</b>			
Calha	0,9	0,2	< <b>0,001</b> <sup>1</sup>
Declividade	0,02	0,04	0,578 <sup>1</sup>
Idade da galeria (anos)	0,02	0,02	0,349 <sup>1</sup>

Coef: coeficiente; E.P:Erro Padrão; 1: Modelo Beta Inflacionário.

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado: degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimentos, classe da declividade, calha, declividade e idade da galeria.

O modelo final foi composto por composto por turbidez da água, tipo de sedimentos e calha e este é apresentado na Tabela A.4.21. O processo de ajuste do modelo multivariado é apresentado na Tabela A.4.40 do anexo.

Interpretando o modelo, observa-se que a chance de ocorrer trechos com turbidez da água de nível 1 é, aproximadamente, 3 vezes a chance dos trechos com nível 2. Não se observa diferença significativa entre nível 3 e nível 1 (referência).

A chance de ocorrer trechos com matéria orgânica é, aproximadamente, 3 vezes a chance daqueles com areia+matéria orgânica. Não se observa diferença significativa entre o tipo de sedimento areia e argila + matéria orgânica em relação à matéria orgânica (referência).

A cada acréscimo de uma unidade na calha a chance dos trechos terem proporções de área por ataque químico é acrescida em 210%.

Assim, tem-se que a proporção média da área por ataque químico em relação à área total é maior entre os trechos de nível 1 (em relação ao nível 2), com matéria orgânica (em relação à areia+matéria orgânica) e com maior valor de calha.

**TABELA A.4.21**

Modelo de Regressão Beta Inflacionário - Área por ataque químico.

Modelo I	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC <sub>95%</sub>	
					Inferior	Superior
Constante	-2,0	0,1	<0,001			
Turbidez da água						
Nível 1				1,0		
Nível 2	-1,1	0,2	<0,001	0,3	0,2	0,5
Nível 3	-0,04	0,5	0,936	1,0	0,3	2,8
Tipo de sedimento						
Areia	-0,8	0,5	0,140	0,5	0,2	1,3
Areia + matéria orgânica	-1,2	0,5	<b>0,012</b>	0,3	0,1	0,8
Argila + matéria orgânica	0,8	0,6	0,161	2,2	0,7	7,0
Materia orgânica				1,0		
Calha	1,1	0,2	<0,001	3,1	2,2	3,1

## Assoreamento

### Nível de impacto

As comparações do nível de impacto para assoreamento e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade são apresentadas na Tabela A.4.22. Vale ressaltar que, para assoreamento não há nível de impacto 1 e 4.

Destaca-se que as comparações do nível de impacto para assoreamento com turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade não puderam ser realizadas na forma original (categorização 1, Tabela A.4.22), devido ao grande número de categorias. Portanto, a turbidez da água foi agrupada em: nível 1 versus outros (indicado por 2), nível 2 versus outros (indicado por 3) e nível 3 versus outros (indicado por 4).

O tipo de sedimento foi agrupado em: areia e areia + matéria orgânica versus outros (indicado por 2). Vale destacar que a categoria 'outros' é a junção de todas as outras.

O mesmo foi feito para a classe da declividade. Desta forma, as comparações realizadas foram: A + B versus C versus D + E (indicado por 2).

Observa-se que degrau, rampa, turbidez da água (classificações indicadas por 2, 3 e 4), tipo de sedimento (classificação indicada por 2) e classe da declividade (classificação indicada por 2) foram indicados a participar do ajuste do modelo multivariado (valor-p  $\leq$  0,25).

Interpretando o cruzamento entre degrau e nível de impacto, como exemplo, tem-se que dos 114 trechos com degrau 104 (91,2%) não apresentaram nível de impacto para assoreamento, 3 (2,6%) tinham nível 2 e 7 (6,2%) tinham nível 3. Entre os 254 trechos sem degrau 231 (90,9%) não tinham nível de impacto para assoreamento, 19 (7,5%) tinham nível 2 e 4 (1,6%) tinham nível 3. Como o valor-p para este cruzamento foi igual a 0,015 tem-se que o degrau é indicado a participar do modelo multivariado inicial.

**TABELA A.4.22**

Comparação entre o nível de impacto para assoreamento e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade

Características	Nível de impacto para assoreamento						Valor-p
	0		2		3		
	n	%	n	%	n	%	
Degrau							
Sim	104	91,2	3	2,6	7	6,2	<b>0,015<sup>2</sup></b>
Não	231	90,9	19	7,5	4	1,6	
Rampa							
Sim	51	100,0	0	0,0	0	0,0	<b>0,049<sup>2</sup></b>
Não	284	89,6	22	6,9	11	3,5	
Turbidez da água							
1) Nível 1	127	88,8	5	3,5	11	7,7	...
Nível 2	90	97,8	2	2,2	0	0,0	
Nível 3	118	88,7	15	11,3	0	0,0	
Turbidez da água							
2) Nível 1	127	88,8	5	3,5	11	7,7	<b>0,018<sup>2</sup></b>
Outros	208	92,4	17	7,6	0	0,0	
3) Nível 2	90	97,8	2	2,2	0	0,0	<b>0,021<sup>2</sup></b>
Outros	245	88,8	20	7,2	11	4,0	
4) Nível 3	118	88,7	15	11,3	0	0,0	<b>&lt;0,001<sup>2</sup></b>
Outros	217	92,3	7	3,0	11	4,7	
Tipo de sedimento							
1) Areia	96	77,4	17	13,7	11	8,9	...
Areia + matéria orgânica	18	85,7	3	14,3	0	0,0	
Argila + matéria orgânica	39	97,5	1	2,5	0	0,0	
Matéria orgânica	182	99,4	1	0,6	0	0,0	
2) Areia e areia+matéria orgânica	114	78,6	20	13,8	11	7,6	<b>&lt;0,001<sup>2</sup></b>
Outros	221	99,1	2	0,9	0	0,0	
Classe da declividade							
1) A	85	91,4	8	8,6	0	0,0	...
B	95	88,8	7	6,5	5	4,7	
C	118	92,9	3	2,4	6	4,7	
D	36	100,0	0	0,0	0	0,0	
E	1	25,0	3	75,0	0	0,0	
Sem informação	0	-	1	-	0	-	
2) A + B	180	90,0	15	7,5	5	2,5	<b>0,150<sup>2</sup></b>
C	118	92,9	3	2,4	6	4,7	
D + E	37	92,5	3	7,5	0	0,0	

2: Teste exato de Fisher

As comparações entre nível de impacto para assoreamento e calha, declividade e idade da galeria são apresentadas na Tabela A.4.23. Observa-se que, por apresentar valor-p inferior a 0,25 as três características foram indicadas a participar do modelo multivariado inicial.

**TABELA A.4.23**

Comparação entre nível de impacto para assoreamento e calha, declividade e idade da galeria.

Nível de impacto para assoreamento	Estatísticas descritivas			Valor-p
	Média	D.P.	Mediana	
<b>Calha</b>				
0	0,2	0,3	0,2	<b>0,002<sup>1</sup></b>
2	0,1	0,2	0,0	
3	0,4	0,1	0,4	
<b>Declividade</b>				
0	3,1	2,3	2,8	<b>0,031<sup>1</sup></b>
2	2,8	4,2	1,2	
3	3,1	1,2	3,9	
<b>Idade da galeria (anos)</b>				
0	33,1	7,6	35,0	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
2	29,1	8,7	35,0	
3	21,0	0,0	21,0	

1: Teste de Kruskal-Wallis

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado as características degrau, rampa, turbidez da água (categorizações indicadas por 2, 3 e 4), tipo de sedimento (categorização indicada por 2), classe da declividade (categorização indicada por 2), calha, declividade e idade da galeria.

O passo-a-passo do processo para o ajuste do modelo final multivariado é apresentado na Tabela A.4.7 do Anexo. Ressalta-se que o modelo está bem ajustado, uma vez que do valor-p da Deviance foi igual a 1,000 (valor-p maior que 0,05).

Na primeira parte da tabela do modelo de regressão são comparados os trechos com nível de impacto 2 para assoreamento em relação aos trechos sem nível de impacto.

Não se observou diferença com significância estatística na área para assoreamento dos trechos com e sem degrau (valor-p=0,655) e em relação à declividade (valor-p=0,052).

Os trechos com areia e matéria orgânica têm cerca de 57 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 2 do que aqueles trechos com outros tipos de sedimentos (valor-p<0,001).

Tem-se que cada aumento de uma unidade na calha, os trechos apresentam redução expressiva na chance de apresentarem nível 2 (valor-p=0,014) em relação aos trechos sem nível.

Já a segunda parte da tabela apresenta os resultados das comparações entre os trechos com nível de impacto 3 para assoreamento em relação aos trechos sem nível.

Os trechos com degrau têm cerca de 10 vezes a chance de apresentar nível de impacto 3 em relação aqueles sem degrau (valor-p=0,003).

A Tabela A.4.24 apresenta o modelo final de regressão pilitômica para o nível de impacto para o assoreamento.

Não se observa diferença com significância estatística entre trechos com areia e matéria orgânica e aqueles com outros tipos de sedimentos (valor-p= 0,993), e ainda em relação à calha (valor-p=0,051).

Verifica-se que o aumento de uma unidade na declividade acarreta no acréscimo de 80% na chance do trecho apresentar nível de impacto 3 para assoreamento em relação aqueles trechos sem nível de impacto (valor-p=0,006).

**TABELA A.4.24**

Modelo final de regressão politômica – Nível de impacto para assoreamento

Modelo	Nível de impacto para assoreamento			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-5,5	<0,001		
Degrau (sim)				
Sim	0,4	0,655	1,4	0,3 a 6,8
Não			1,0	
Tipo de sedimento				
Areia e areia+matéria orgânicas	4,0	<0,001	56,8	9,1 a 354,7
Outros			1,0	
Calha	-3,6	<b>0,014</b>	0,03	0,0 a 0,5
Declividade	0,2	0,052	1,2	1,0 a 1,5
<b>3 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-31,6	0,991		
Degrau				
Sim	2,3	<b>0,003</b>	9,9	2,1 a 45,6
Não			1,0	
Tipo de sedimento				
Areia e areia+matéria orgânica	25,1	0,993	*	*
Outros				
Calha	6,1	0,051	431,6	0,0 a 193262,7
Declividade	0,6	<b>0,006</b>	1,8	1,2 a 2,6

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

### Área de assoreamento ponderada pela área total

As comparações entre área de assoreamento ponderada pela área total em relação ao degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento, classe da declividade, calha declividade e idade da galeria (anos) está apresentada pela Tabela A.4.25. Observa-se que turbidez da água, tipo de sedimento, calha e idade da galeria apresentaram, em pelo menos uma das categorias, valor-p inferior a 0,25, e por isto foram indicadas a participarem do ajuste no modelo inicial multivariado.

**TABELA A.4.25**

Comparação da área para assoreamento ponderada pela área total em relação às características de interesses.

<b>Características</b>	<b>Coef.</b>	<b>E.P</b>	<b>Valor-p</b>
<b>Catégoricas</b>			
Degrau			
Sim	-0,4	0,3	0,897 <sup>1</sup>
Não			
Rampa			
Sim	-3,3	4,6 X e <sup>8</sup>	1,000 <sup>1</sup>
Não			
Turbidez da água			
Nível 1			
Nível 2	-2,4	1,0	<b>0,018<sup>1</sup></b>
Nível 3	-0,5	0,3	<b>0,089<sup>1</sup></b>
Tipo de sedimento			
Areia	2,2	1,0	<b>0,031<sup>1</sup></b>
Areia + matéria orgânica	2,1	1,1	<b>0,072<sup>1</sup></b>
Argila + matéria orgânica	1,4	1,3	0,289 <sup>1</sup>
Matéria orgânica			
Classe da declividade			
A			
B	0,1	0,3	0,754 <sup>1</sup>
C	0,4	0,4	0,316 <sup>1</sup>
D	-3,2	5 x e <sup>8</sup>	1,000 <sup>1</sup>
E	0,2	0,6	0,713 <sup>1</sup>
<b>Quantitativas</b>			
Calha	1,8	0,7	<b>0,010<sup>1</sup></b>
Declividade	0,01	0,04	0,853 <sup>1</sup>
Idade da galeria (anos)	-0,4	0,02	<b>0,061<sup>1</sup></b>

Coef: coeficiente; E.P:Erro Padrão; 1: Modelo Beta Inflacionário.

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado as características degrau, turbidez da água, tipo de sedimento, classe da declividade, calha e idade da galeria.

Foram ajustados três modelos, sendo o primeiro (Tabela A.4.26) composto apenas por turbidez da água, o segundo com a característica tipo de sedimento (Tabela A.4.27) e por fim o terceiro composto pela característica calha (Tabela A.4.28). O processo de ajuste do modelo multivariado é apresentado na Tabela A.4.42 do anexo.

Interpretando o primeiro modelo, observa-se que a chance de ocorrer trechos com turbidez da água de nível 1 é, aproximadamente, 10 vezes a chance dos trechos com nível 2. Não se observa diferença significativa entre nível 3 e nível 1 (referência).

Assim, tem-se maior proporção de área de assoreamento entre os trechos com nível 1 que os trechos com nível 2.

**TABELA A.4.26**

Modelo Beta Inflacionário - Área de assoreamento.

Modelo I	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-1,0	0,2	<0,001			
Turbidez da água						
Nível 1				1,0		
Nível 2	-2,4	1,0	<b>0,018</b>	0,1	0,01	0,6
Nível 3	-0,5	0,3	0,089	0,6	0,4	1,1

Interpretando o segundo modelo, observa-se que a chance de ocorrer trechos com areia é, aproximadamente, 9 vezes a chance daqueles com matéria orgânica. Não se observa diferença significativa entre o tipo de sedimento areia + matéria orgânica e argila + matéria orgânica em relação à matéria orgânica (referência).

Assim, tem-se maior proporção de área de assoreamento entre os trechos com areia do que os trechos com matéria orgânica.

**TABELA A.4.27**

Modelo Beta Inflacionário - Área de assoreamento.

Modelo II	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-3,4	1,0	<0,001			
Tipo de sedimento						
Areia	2,2	1,0	<b>0,031</b>	8,9	1,2	65,3
Areia + matéria orgânica	2,1	1,1	0,072	7,9	0,8	74,0
Argila + matéria orgânica	1,4	1,3	0,289	4,1	0,3	54,7
Matéria orgânica				1,0		

A cada acréscimo de uma unidade na calha a chance dos trechos terem proporções de área de assoreamento é acrescida em 520%.

**TABELA A.4.28**

Modelo Beta Inflacionário - Área de assoreamento.

Modelo II	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-1,7	0,2	<0,001			
Calha	1,8	0,7	<b>0,010</b>	6,2	1,6	24,9

## Casual

### Nível de impacto

A Tabela A.4.29 apresenta as comparações do nível de impacto casual e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade. Vale ressaltar que, para assoreamento não há nível de impacto 1.

Destaca-se que as comparações do nível de impacto casual com turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade não puderam ser realizadas na forma original (categorização 1, Tabela A.4.29), devido ao grande número de categorias. Portanto, a turbidez da água foi agrupada em: nível 1 versus outros (indicado por 2), nível 2 versus outros (indicado por 3) e nível 3 versus outros (indicado por 4).

O tipo de sedimento foi agrupado em: areia e areia + matéria orgânica versus outros (indicado por 2). Vale destacar que a categoria 'outros' é a junção de todas as outras.

O mesmo foi feito para a classe da declividade. Desta forma, as comparações realizadas foram: A + B versus C versus D + E (indicado por 2).

Observa-se que, por apresentarem valores-p inferiores a 0,25 o degrau, turbidez da água (categorizações indicadas por 2 e 4) e classe da declividade (categorização indicada por 2) foram selecionados para participarem do ajuste do modelo multivariado inicial.

Interpretando o cruzamento entre degrau e nível de impacto, como exemplo, tem-se que dos 114 trechos com degrau, 79 (69,3%) não apresentaram nível de impacto casual, 30 (26,3%) tinham nível 2, 4 (3,5%) tinham nível 3 e 1 (0,9%) tinha nível 4. Entre os 254 trechos sem degrau, 188 (74%) não tinham nível de impacto casual, 63 (24,8%) tinham nível 2 e 3 (1,2%) tinham nível 3. Como o valor-p para este cruzamento foi igual a 0,176 o degrau é indicado a participar do modelo multivariado inicial.

**TABELA A.4.29**

Comparação do nível de impacto casual e degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento e classe da declividade

Características	Nível de impacto casual								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Degrau									
Sim	79	69,3	30	26,3	4	3,5	1	0,9	<b>0,176<sup>2</sup></b>
Não	188	74,0	63	24,8	3	1,2	0	0,0	
Rampa									
Sim	34	66,7	17	33,3	0	0,0	0	0,0	0,377 <sup>2</sup>
Não	233	73,5	76	24,0	7	2,2	1	0,3	
Turbidez da água									
1) Nível 1	104	72,7	32	22,4	6	4,2	1	0,7	...
Nível 2	72	78,3	20	21,7	0	0,0	0	0,0	
Nível 3	91	68,4	41	30,8	1	0,8	0	0,0	
2) Nível 1	104	72,7	32	22,4	6	4,2	1	0,7	<b>0,164<sup>2</sup></b>
Outros	163	72,4	61	27,1	1	0,4	0	0,0	
3) Nível 2	72	78,3	20	21,7	0	0,0	0	0,0	0,326 <sup>2</sup>
Outros	195	70,7	73	26,4	7	2,5	1	0,4	
4) Nível 3	91	68,4	41	30,8	1	0,8	0	0,0	<b>0,147<sup>2</sup></b>
Outros	176	74,9	52	22,1	6	2,6	1	0,4	
Tipo de sedimento									
1) Areia	78	62,9	43	34,7	3	2,4	0	0,0	...
Areia + matéria orgânica	21	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Argila + matéria orgânica	27	67,5	13	32,5	0	0,0	0	0,0	
Matéria orgânica	141	77,0	37	20,2	4	2,2	1	0,6	
2) Areia e areia+matéria orgânica	99	68,3	43	29,7	3	2,1	0	0,0	0,342 <sup>2</sup>
Outros	168	75,3	50	22,4	4	1,8	1	0,5	
Classe da declividade									
1) A	64	68,8	28	30,1	1	1,1	0	0,0	...
B	80	74,8	25	23,3	2	1,9	0	0,0	
C	94	74,0	31	24,4	1	0,8	1	0,8	
D	26	72,2	7	19,5	3	8,3	0	0,0	
E	2	50,0	2	50,0	0	0,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	
2) A + B	144	72,0	53	26,5	3	1,5	0	0,0	<b>0,186<sup>2</sup></b>
C	94	74,0	31	24,4	1	0,8	1	0,8	
D + E	28	70,0	9	22,5	3	7,5	0	0,0	

2: Teste exato de Fisher

As comparações entre nível de impacto casual e calha, declividade e idade da galeria são apresentadas na Tabela A.4.30. Observa-se que apenas a declividade foi indicada a participar do modelo multivariado ( $\text{valor-p} \leq 0,25$ ).

**TABELA A.4.30**

Comparação entre nível de impacto casual e calha, declividade e idade da galeria.

Nível de impacto casual	Estatísticas descritivas			Valor-p
	Média	D.P.	Mediana	
<b>Calha</b>				
0	0,2	0,3	0,2	0,398 <sup>1</sup>
2	0,2	0,3	0,2	
3	0,1	0,2	0,0	
4	0,0	-	0,0	
<b>Declividade</b>				
0	3,1	2,4	2,8	<b>0,113<sup>1</sup></b>
2	2,9	2,5	2,0	
3	4,4	3,0	4,8	
4	6,0	-	6,0	
<b>Idade da galeria (anos)</b>				
0	32,5	8,0	35,0	0,334 <sup>1</sup>
2	32,0	7,4	35,0	
3	33,9	9,0	40,0	
4	40,0	-	40,0	

-: apenas uma observação; 1: Teste de Kruskal-Wallis

Assim, tem-se que degrau, turbidez da água (indicadas pelas classificações 2 e 4), classe da declividade (indicada pela classificação 2) e declividade foram selecionadas a participar do ajuste do modelo multivariado.

O passo-a-passo do processo para o ajuste do modelo final multivariado é apresentado na Tabela A.4.43 do Anexo. Entretanto, observa-se que mesmo na presença de outra característica nenhuma delas permanece significativa no modelo de regressão, o que indica não existir associação entre as características estudadas e o nível de impacto casual.

### Área casual ponderada pela área total

As comparações entre área casual ponderada pela área total em relação ao degrau, rampa, turbidez da água, tipo de sedimento, classe da declividade, calha declividade e idade da galeria (anos) são apresentadas na Tabela A.4.31. Observa-se que todas as características, com exceção da característica rampa, apresentaram, em pelo menos uma das categorias, valor-p inferior a 0,25, e por isto foram indicadas a participar do ajuste no modelo inicial multivariado.

**TABELA A.4.31**

Comparação da área casual ponderada pela área total em relação às características de interesses.

<b>Características</b>	<b>Coef.</b>	<b>E.P</b>	<b>Valor-p</b>
<b>Catégoricas</b>			
Degrau			
Sim	0,3	0,2	<b>0,114<sup>1</sup></b>
Não			
Rampa			
Sim	0,2	0,3	0,481 <sup>1</sup>
Não			
Turbidez da água			
Nível 1			
Nível 2	-0,5	0,3	<b>0,073<sup>1</sup></b>
Nível 3	-0,6	0,2	<b>0,005<sup>1</sup></b>
Tipo de sedimento			
Areia	-0,5	0,2	<b>0,025<sup>1</sup></b>
Areia + matéria orgânica	-2,3	1,3 x e <sup>9</sup>	1,000 <sup>1</sup>
Argila + matéria orgânica	0,2	0,3	0,458 <sup>1</sup>
Matéria orgânica			
Classe da declividade			
A			
B	0,3	0,3	0,319 <sup>1</sup>
C	0,4	0,2	<b>0,093<sup>1</sup></b>
D	1,1	0,3	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
E	0,5	0,7	0,447 <sup>1</sup>
<b>Quantitativas</b>			
Calha	-0,6	0,4	<b>0,135<sup>1</sup></b>
Declividade	0,1	0,03	<b>0,003<sup>1</sup></b>
Idade da galeria (anos)	0,02	0,01	<b>0,114<sup>1</sup></b>

Coef: coeficiente; E.P:Erro Padrão; 1: Modelo Beta Inflacionário.

Assim, participaram do ajuste do modelo multivariado inicial as características degrau, turbidez da água, tipo de sedimentos, classe da declividade, calha, declividade e idade da galeria (valor- $p \leq 0,25$ ). O processo de ajuste do modelo multivariado é apresentado na Tabela A.6.10 do anexo.

Foram ajustados dois modelos finais, sendo o primeiro composto por turbidez da água (Tabela A.4.32) e o segundo por tipo de sedimento (Tabela A.4.33) e por fim o modelo com classe de declividade (Tabela A.4.34)

Interpretando o primeiro modelo, observa-se que a chance de ocorrer trechos com turbidez da água de nível 1 é, aproximadamente, 2 vezes a chance dos trechos com nível 3. Não se observa diferença significativa entre nível 2 e nível 1 (referência).

Assim, tem-se maior proporção de área de casual em relação à área total entre os trechos com nível 1 que os trechos com nível 3.

**TABELA A.4.32**

Modelo Beta Inflacionário - Área Casual.

Modelo I	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-2,8	0,2	<0,001			
Turbidez da água						
Nível 1				1,0		
Nível 2	-0,5	0,3	0,073	0,6	0,4	1,0
Nível 3	-0,6	0,2	<b>0,005</b>	0,5	0,4	0,8

Interpretando o segundo modelo, observa-se que a chance de ocorrer trechos com matéria orgânica é, aproximadamente, 2 vezes a chance daqueles com areia. Não se observa diferença significativa entre o tipo de sedimento areia + matéria orgânica e argila + matéria orgânica em relação à matéria orgânica (referência).

Assim, tem-se maior proporção de área casual entre os trechos com matéria orgânica do que os trechos com areia.

**TABELA A.4.33**

Modelo Beta Inflacionário - Área Casual.

Modelo II	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-2,9	0,1	<0,001			
Tipo de sedimento						
Areia	-0,4	0,2	<b>0,025</b>	0,6	0,4	0,9
Areia + matéria orgânica	-2,2	1,2x e <sup>9</sup>	1,000	0,1	0	...
Argila + matéria orgânica	0,2	0,3	0,477	1,2	0,6	2,2
Matéria orgânica				1,0		

Em relação ao terceiro modelo, verifica-se que a chance de ocorrer trechos com classe de declividade D é, aproximadamente, 3 vezes a chance daqueles classificados como A. Não se observa diferença significativa entre as classes B, C e E em relação à classe A (referência).

Assim, tem-se maior proporção de área casual entre os trechos com classe da declividade D do que os trechos com classe A.

**TABELA A.4.34**

Modelo Beta Inflacionário - Área Casual.

Modelo III	Coeficiente	Erro-padrão	Valor-p	OR	IC 95%	
					Inferior	Superior
Constante	-3,5	0,2	<0,001			
Classe da declividade						
A				1,0		
B	0,3	0,3	0,319	1,3	0,8	2,1
C	0,4	0,3	0,093	1,5	0,9	2,4
D	1,1	0,3	<b>&lt;0,001</b>	3,1	1,6	6,0
E	0,5	0,8	0,447	1,7	0,4	6,6

## **Resumo da análise multivariada**

O Quadro A.4.3 apresenta os valores-p das análises multivariadas para os níveis de impacto.

Assim, conclui-se que os trechos com degrau têm maiores chances de apresentarem nível de impacto 2 para abrasão do que aqueles sem degrau, os trechos com nível de turbidez 2 têm menores chances de apresentar nível de impacto 2 do que aqueles com nível de turbidez 1 e a declividade do nível de impacto 2 diminui comparada ao nível 0. Os trechos com rampa têm maiores chances de apresentarem nível de impacto 3 do que aqueles sem rampa, os níveis de turbidez 2 e 3 têm menores chances de apresentarem nível de impacto 3 do que aqueles com nível 1 para turbidez e a idade das galerias com nível de impacto 3 é maior do que a idade para galerias com nível 0. Sobre o modelo para nível de impacto 4 para abrasão, conclui-se que a calha dos trechos com este nível é maior do que a calha em trechos com nível 0.

Quanto ao modelo para cavitação tem-se que os trechos com rampa têm maiores chances de apresentar nível de impacto 3 do que aqueles sem rampa. Têm maiores chances de apresentar nível de impacto 4 para cavitação trechos com degrau, rampa e nível de turbidez 2 (em relação ao nível 1) e a idade das galerias aumenta quando comparados os níveis 4 e 0.

Os trechos com rampa têm maiores chances de apresentar níveis de impacto 2 e 3 para ataque químico do que aqueles sem rampa, a calha e a idade da galeria apresentam aumento nos níveis 2 e 3 comparados ao nível 0. Têm-se que os trechos com degrau têm maiores chances de apresentar nível de impacto 4 do que aqueles sem degrau.

Por fim, conclui-se que os trechos com areia e matéria orgânica têm chances maiores de apresentar nível de impacto 2 para assoreamento do que aqueles com outros tipos de sedimentos e a calha diminui do nível de impacto 2 para o nível 0. Os trechos com degrau têm maiores chances de apresentar nível de impacto 3 para assoreamento do que aqueles sem degrau e a declividade aumenta do nível 3 para o nível 0.

### QUADRO A.4.3

Resumo das análises multivariadas para nível de impacto

Características	Nível de impacto			
	Abrasão	Cavitação	Ataque Químico	Assoreamento
<b>2 em relação sem nível</b>				
Degrau	<b>4,2</b> (1,7 a 10,6)	0,0(*)	1,1 (0,5 a 2,2)	1,4 (0,3 a 6,8)
Rampa	2,4 (0,8 a 7,6)	0,0(*)	<b>3,3</b> (1,5 a 7,3)	--
Turbidez da água				
Nível 2	<b>0,4</b> (0,1 a 0,99)	0,0(*)	--	--
Nível 3	0,5 (0,2 a 1,2)	0,0(*)	--	--
Tipo de sedimento	--	--	--	<b>56,8</b> (9,1 a 354,7)
Calha	2,6 (0,7 a 9,2)	0,1 (0,0 a 309,9)	<b>3,5</b> (1,3 a 9,6)	<b>0,03</b> (0,0 a 0,5)
Declividade	<b>0,8</b> (0,6 a 1,0)	--	--	1,2 (1,0 a 1,5)
Idade da galeria (anos)	1,0 (0,9 a 1,0)	0,9 (0,7 a 1,2)	<b>1,2</b> (1,1 a 1,3)	--
<b>3 em relação sem nível</b>				
Degrau	1,5 (0,7 a 3,0)	2,1 (0,6 a 7,5)	1,6 (0,7 a 3,5)	<b>9,9</b> (2,1 a 45,6)
Rampa	<b>2,9</b> (1,3 a 6,6)	<b>6,5</b> (1,7 a 25,0)	<b>6,8</b> (3,0 a 15,7)	--
Turbidez da água				
Nível 2	<b>0,1</b> (0,02 a 0,2)	0,0 (*)	--	--
Nível 3	<b>0,4</b> (0,2 a 0,9)	0,8 (0,2 a 3,2)	--	--
Tipo de sedimento	--	--	--	*
Calha	1,0 (0,3 a 2,7)	0,9 (0,2 a 4,6)	<b>5,3</b> (1,8 a 15,6)	431,6 (0,0 a 193262,7)
Declividade	1,0 (0,9 a 1,1)	X	X	<b>1,8</b> (1,2 a 2,6)
Idade da galeria (anos)	<b>1,1</b> (1,01 a 1,2)	1,1 (1,0 a 1,2)	<b>1,2</b> (1,1 a 1,2)	--
<b>4 em relação sem nível</b>				
Degrau	0,0 (*)	<b>10,1</b> (4,0 a 25,4)	<b>6,9</b> (1,2 a 40,3)	--
Rampa	1,3 (0,3 a 5,7)	<b>21,8</b> (8,6 a 55,3)	0,0 (*)	--
Turbidez da água				
Nível 2	14,6 (0,2 a 1000,4)	<b>3,6</b> (1,4 a 9,3)	--	--
Nível 3	0,0 (*)	1,7 (0,6 a 5,3)	--	--
Tipo de sedimento	--	--	--	--
Calha	<b>14,2</b> (2,6 a 79,6)	0,5 (0,2 a 1,4)	0,0 (*)	--
Declividade	1,3 (0,9 a 1,8)	--	--	--
Idade da galeria (anos)	1,8 (0,8 a 4,0)	<b>1,2</b> (1,01 a 1,3)	1,3 (0,9 a 1,8)	--

--: categorização não avaliada

O Quadro A.4.4 apresenta os valores-p das análises multivariadas para as áreas ponderadas pela área total. Os resultados com significância estatística foram destacados em negrito.

Em relação ao primeiro modelo para área de abrasão tem-se que os trechos com turbidez da água classificados com nível 2 ou nível 3 apresentaram menor área de impacto por abrasão que os trechos de nível 1 e que o acréscimo na idade da galeria acarreta no aumento na área de abrasão. Já para o segundo modelo, tem-se que o trecho que apresentou areia como tipo de sedimento teve área de abrasão menor que aqueles com tipo de sedimento classificado como matéria orgânica e que o acréscimo na idade da galeria acarreta no aumento da proporção de área por abrasão em relação à área total.

Sobre o primeiro modelo para área de cavitação observa-se que os trechos com turbidez da água classificados com nível 2 apresentaram menor área de cavitação que aqueles com nível 1 e que o acréscimo de unidades na calha, declividade e idade acarretam no aumento da área de cavitação. Para o segundo modelo tem-se que os trechos que apresentaram areia como tipo de sedimento tiveram área de cavitação aumentada em relação aos trechos com matéria orgânica e que o acréscimo de unidades nas calhas, declividades e idades acarretam no aumento da proporção de área por cavitação em relação à área total.

O modelo para ataque químico aponta que os trechos com turbidez da água classificados no nível 2 apresentaram menor área de ataque químico que aqueles classificados com nível 1. A chance do trecho com areia + matéria-orgânica apresentar área de ataque químico é menor que a chance daqueles com apenas matéria orgânica. O acréscimo de unidades na calha acarreta no aumento da proporção de área por ataque químico em relação à área total.

Observa-se que, para o modelo da área de assoreamento, que os trechos com turbidez da água classificados com nível 2 apresentaram menor área que aqueles com nível 1. Em relação ao segundo e ao terceiro modelos, respectivamente, nota-se que os trechos com areia (em relação aqueles com matéria orgânica) e com maiores valores de calha apresentaram maior proporção de área por assoreamento em relação à área total.

Para o modelo da área casual tem-se que os trechos com turbidez da água classificados com nível 2 apresentaram menor área que aqueles com nível 1. Em relação ao segundo modelo, observa-se que o trecho com areia apresentou menor área casual em relação a área total que os trechos com matéria orgânica. E por fim, verifica-se que os trechos com classe da declividade apresentam maior proporção da área casual em relação à área total do que os trechos com classe A.

#### QUADRO A.4.4

Resumo das análises multivariadas para área ponderada pela área total

Características	Área ponderada pela área total											
	Abrasão		Cavitação		Ataque Químico		Assoreamento			Casual		
	I	II	I	II	I	I	II	III	I	II	III	
Turbidez da água												
Nível 1	1,0		1,0		1,0	1,0	X	X	1,0			
Nível 2	<b>0,5</b> (0,3 a 0,7)	X	<b>0,6</b> (0,4 a 0,9)	X	<b>0,3</b> (0,2 a 0,5)	<b>0,1</b> (0,01 a 0,6)	X	X	0,6 (0,4 a 1,0)	X	X	
Nível 3	<b>0,5</b> (0,4 a 0,7)	X	1,0 (0,5 a 1,7)	X	1,0 (0,3 a 2,8)	0,6 (0,4 a 1,1)	X	X	<b>0,5</b> (0,4 0,8)	X	X	
Tipo de sedimento												
Areia	X	<b>0,5</b> (0,3 a 0,9)	X	<b>12,3</b> (1,4 a 108,6)	0,5 (0,2 a 1,3)	X	<b>8,9</b> (1,2 a 65,3)	X	X	<b>0,6</b> (0,4 a 0,9)	X	
Areia + matéria orgânica	X	0,5 (0,4 a 1,0)	X	1,6 (0,6 a 3,8)	<b>0,3</b> (0,1 a 0,8)	X	7,9 (0,8 a 74,0)	X	X	0,1 (0 a *)	X	
Argila + matéria orgânica	X	1,2 (0,8 a 1,21)	X	1,8 (1,0 a 3,4)	2,2 (0,7 a 7,0)	X	4,1 (0,3 a 54,7)	X	X	1,2 (0,6 a 2,2)	X	
Matéria orgânica	X	1,0		1,0	1,0		1,0			1,0		
Classe da declividade												
A											1,0	
B	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1,3 (0,8 a 2,1)	
C	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1,5 (0,9 a 2,4)	
D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	<b>3,1</b> (1,6 a 6,0)	
E	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1,7 (0,4 a 6,6)	
Calha	X	X	<b>2,1</b> (1,2 a 3,4)	<b>2,2</b> (1,3 a 3,7)	<b>3,1</b> (2,2 a 3,1)	X	X	<b>6,2</b> (1,6 a 24,9)	X	X	X	
Declividade	X	X	<b>1,2</b> (1,1 a 1,3)	<b>1,3</b> (1,1 a 1,4)	X	X	X	X	X	X	X	
Idade da galeria (anos)	<b>1,05</b> (1,03 a 1,07)	<b>1,04</b> (1,01 a 1,08)	<b>1,1</b> (1,02 a 1,2)	<b>1,2</b> (1,1 a 1,3)	X	X	X	X	X	X	X	

X: não inserido na etapa

## Tabelas Complementares

**TABELA A.4.35**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para abrasão.

Características	Valor-p das etapas				Modelo final
	1	2	3	4	
<b>2 em relação ao sem grau</b>					
Degrau (sim)	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>
Rampa (sim)	<b>0,043</b>	<b>0,031</b>	<b>0,037</b>	0,135	0,135
Turbidez da água					
Nível 2	0,290	0,333	0,510	<b>0,044</b>	<b>0,044</b>
Nível 3	0,067	0,080	0,169	0,126	0,126
Tipo de sedimento					
2) Areia e areia+materia orgânica	<b>0,007</b>	<b>0,006</b>	<b>0,001</b>	X	X
Classe da declividade					
2) C	0,067	X	X	X	X
D + E	0,163	X	X	X	X
Calha	0,223	0,134	0,060	0,147	0,147
Declividade	<b>0,040</b>	0,140	X	<b>0,031</b>	<b>0,031</b>
Idade da galeria (anos)	0,206	0,121	0,099	0,700	0,700
<b>3 em relação ao sem grau</b>					
Degrau (sim)	0,223	0,191	0,182	0,309	0,309
Rampa (sim)	<b>0,008</b>	<b>0,004</b>	<b>0,003</b>	<b>0,011</b>	<b>0,011</b>
Turbidez da água					
Nível 2	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Nível 3	<b>0,016</b>	<b>0,008</b>	<b>0,007</b>	<b>0,020</b>	<b>0,020</b>
Tipo de sedimento					
2) Areia e areia+materia orgânica	<b>0,032</b>	<b>0,042</b>	<b>0,032</b>	X	X
Classe da declividade					
2) C	0,531	X	X	X	X
D + E	0,295	X	X	X	X
Calha	0,598	0,712	0,747	0,917	0,917
Declividade	0,452	0,939	X	0,518	0,518
Idade da galeria (anos)	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>4 em relação ao sem grau</b>					
Degrau (sim)	0,990	0,993	0,992	<b>0,994</b>	<b>0,994</b>
Rampa (sim)	0,615	0,438	0,400	0,713	0,713
Turbidez da água					
Nível 2	0,963	0,965	0,966	0,214	0,214
Nível 3	0,978	0,980	0,980	<b>0,997</b>	<b>0,997</b>
Tipo de sedimento					
2) Areia e areia+materia orgânica	0,975	0,977	0,978	X	X
Classe da declividade					
2) C	0,180	X	X	X	X
D + E	0,277	X	X	X	X
Calha	<b>0,007</b>	<b>0,007</b>	<b>0,006</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>
Declividade	0,665	0,118	X	0,148	0,148
Idade da galeria (anos)	0,961	0,963	0,964	0,155	0,155

X: não inserida na etapa.

**TABELA A.4.36**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Binomial Negativa em relação à abrasão.

Características	Valor-p						Final	
<b>Catégoricas</b>								
Rampa	0,710	X	X	X	X	X	X	X
Turbidez da água								
Nível 2	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	X	<0,001	X
Nível 3	0,003	0,003	0,004	0,002	<0,001	X	<0,001	X
Tipo de sedimento								
Areia	0,916	0,901	0,709	0,884	X	X	X	X
Areia + matéria orgânica	0,003	0,004	0,004	0,003	X	X	X	X
Argila + matéria orgânica	0,027	0,029	0,022	0,025	X	X	X	X
Classe da declividade								
B	0,886	0,868	X	X	X		X	
C	0,746	0,789	X	X	X	0,011	X	0,011
D	0,578	0,624	X	X	X	0,064	X	0,064
E	0,149	0,150	X	X	X	0,413	X	0,413
<b>Quantitativas</b>								
Declividade	X	X	0,086	X	X		X	
Idade da galeria (anos)	0,039	0,039	0,030	0,036	<0,001	0,013	<0,001	0,013
Adequação	*	*	*	*				

X: não inserida na etapa; \*: não adequação

**TABELA A.4.37**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para cavitação.

Características	Valor-p das etapas								
	2 em relação ao sem grau			3 em relação ao sem grau			4 em relação ao sem grau		
	1	2	Modelo final	1	2	Modelo final	1	2	Modelo final
Degrau (sim)	0,981	0,998	0,998	0,187	0,236	0,236	<0,001	<0,001	<0,001
Rampa (sim)	0,992	0,999	0,999	0,003	0,006	0,006	<0,001	<0,001	<0,001
Turbidez da água									
Nível 2	0,993	0,999	0,999	0,997	0,998	0,998	0,021	0,008	0,008
Nível 3	0,990	0,999	0,999	0,837	0,816	0,816	0,336	0,348	0,348
Tipo de sedimento									
2) Areia e areia+matéria orgânica	0,983	X	X	0,003	X	X	0,365	X	X
Classe da declividade									
2) C	0,993	X	X	0,397	X	X	0,969	X	X
D + E	0,998	X	X	0,998	X	X	0,748	X	X
Calha	1,000	0,544	0,544	0,971	0,890	0,890	0,185	0,166	0,166
Declividade	1,000	X	X	0,357	X	X	0,621	X	X
Idade da galeria (anos)	0,983	0,634	0,634	0,010	0,123	0,123	0,031	0,008	0,008

X: não inserida na etapa.

**TABELA A.4.38**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação à cavitação.

Características	Valor-p						Final	
<b>Catégoricas</b>								
Rampa	0,603	<b>0,362</b>	<b>0,403</b>	X	0,619	X	X	X
Turbidez da água								
Nível 2	0,982	X	0,057	<b>0,033</b>	X	X	<b>0,033</b>	X
Nível 3	0,366	X	0,722	0,918	X	X	0,918	X
Tipo de sedimento								
Areia	0,373	X	X	X	<b>0,032</b>	<b>0,024</b>	X	<b>0,024</b>
Areia + matéria orgânica	0,514	X	X	X	0,346	0,333	X	0,333
Argila + matéria orgânica		X	X	X	<b>0,046</b>	0,052	X	0,052
<b>Quantitativas</b>								
Calha	<b>0,008</b>	0,022	<b>0,015</b>	<b>0,006</b>	<b>0,008</b>	<b>0,004</b>	<b>0,006</b>	<b>0,004</b>
Declividade	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,001</b>
Idade da galeria (anos)	0,201	X	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>0,001</b>

X: não inserido na etapa.

**TABELA A.4.39**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para ataque químico.

Características	Valor-p das etapas				Modelo final
	1	2	3	4	
<b>2 em relação ao sem grau</b>					
Degrau (sim)	0,218	0,251	0,408	0,822	0,822
Rampa (sim)	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>
Turbidez da água					
2) Nível 1	0,430	X	X	X	X
3) Nível 2	X	X	X	X	X
4) Nível 3	X	0,559	X	X	X
Tipo de sedimento					
2) Areia e areia+matéria orgânica	<b>0,024</b>	0,067	<b>0,005</b>	X	X
Classe da declividade					
2) C	0,285	0,319	X	X	X
D + E	0,812	0,787	X	X	X
Calha	<b>0,007</b>	<b>0,007</b>	<b>0,008</b>	<b>0,016</b>	<b>0,016</b>
Declividade	0,963	0,988	X	X	X
Idade da galeria (anos)	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>3 em relação ao sem grau</b>					
Degrau (sim)	0,292	0,257	0,301	0,233	0,233
Rampa (sim)	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Turbidez da água					
5) Nível 1	0,809	X	X	X	X
6) Nível 2	X	X	X	X	X
7) Nível 3	X	0,409	X	X	X
Tipo de sedimento					
3) Areia e areia+matéria orgânica	0,176	0,124	0,164	X	X
Classe da declividade					
2) C	0,772	0,887	X	X	X
D + E	0,780	0,829	X	X	X
Calha	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>
Declividade	0,769	0,826	X	X	X
Idade da galeria (anos)	<b>0,050</b>	<b>0,032</b>	<b>0,032</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
<b>4 em relação ao sem grau</b>					
Degrau (sim)	0,057	<b>0,037</b>	<b>0,034</b>	<b>0,033</b>	<b>0,033</b>
Rampa (sim)	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
Turbidez da água					
8) Nível 1	0,995	X	X	X	X
9) Nível 2	X	X	X	X	X
10) Nível 3	X	0,996	X	X	X
Tipo de sedimento					
4) Areia e areia+matéria orgânica	0,996	0,996	0,996	X	X
Classe da declividade					
2) C	0,494	0,486	X	X	X
D + E	0,769	0,739	X	X	X
Calha	0,982	0,984	0,985	0,984	0,984
Declividade	0,637	0,611	X	X	X
Idade da galeria (anos)	0,587	0,276	0,160	0,134	0,134

X: não inserida na etapa.

**TABELA A.4.40**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação ao ataque químico.

Características	Valor-p	Final
<b>Catégoricas</b>		
Turbidez da água		
Nível 2	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>
Nível 3	0,936	0,936
Tipo de sedimento		
Areia	0,140	0,140
Areia + matéria orgânica	<b>0,012</b>	<b>0,012</b>
Argila + matéria orgânica	0,161	0,161
<b>Quantitativas</b>		
Calha	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>

X: não inserido na etapa.

**TABELA A.4.41**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto para assoreamento.

Características	Valor-p das etapas							
	2 em relação ao sem grau				3 em relação ao sem grau			
	1	2	3	Modelo final	1	2	3	Modelo final
Degrau (sim)	0,954	0,510	0,655	0,655	<b>0,013</b>	<b>0,018</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>
Rampa (sim)	0,998	X	X	X	0,997	X	X	X
Turbidez da água								
2) Nível 1	X	X	X	X	X	X	X	X
3) Nível 2	0,175	X	X	X	0,997	X	X	X
4) Nível 3	X	<b>0,043</b>	X	X	X	0,995	X	X
Tipo de sedimento								
2) Areia e areia+matéria orgânica	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,993	0,994	0,993	0,993
Classe da declividade								
2) C	0,822	X	X	X	0,543	X	X	X
D + E	0,635	X	X	X	0,997	X	X	X
Calha	<b>0,009</b>	<b>0,010</b>	<b>0,014</b>	<b>0,014</b>	0,433	0,235	0,051	0,051
Declividade	0,614	<b>0,009</b>	0,052	0,052	0,349	0,190	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>
Idade da galeria (anos)	0,787	0,700	X	X	0,136	0,239	X	X

X: não inserido na etapa.

**TABELA A.4.42**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação ao assoreamento.

Características	Valor-p									Final
<b>Catégoricas</b>										
Turbidez da água										
Nível 2	0,054	<b>0,043</b>	<b>0,030</b>	X	<b>0,018</b>	X	X	X	X	X
Nível 3	0,431	0,372	0,165	X	0,089	X	X	X	X	X
Tipo de sedimento										
Areia	X	X	X	X	X	0,076	0,064	0,057	<b>0,031</b>	
Areia + matéria orgânica	X	X	X	X	X	0,081	<b>0,048</b>	0,096	<b>0,072</b>	
Argila + matéria orgânica	X	X	X	X	X	0,334	0,290	0,339	0,289	
<b>Quantitativas</b>										
Calha	0,212	0,164	X	0,052	X	0,098		X	X	
Idade da galeria (anos)	0,618	X	0,436	0,297	X	0,585	0,256	<b>0,049</b>	X	
Observações										

X: não inserida na etapa; \*: não adequação

Continuação Tab. A.4.42

Características	Valor-p		Final			
	<b>Catégoricas</b>					
Turbidez da água	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>0,018</b>	X	<b>X</b>	<b>X</b>
Nível 2	<b>X</b>	<b>X</b>	0,089	X	<b>X</b>	<b>X</b>
Nível 3	<b>X</b>	<b>X</b>			<b>X</b>	<b>X</b>
Tipo de sedimento			X	<b>0,031</b>		
Areia	<b>X</b>	<b>X</b>	X	<b>0,072</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Areia + matéria orgânica	<b>X</b>	<b>X</b>	X	0,289	<b>X</b>	<b>X</b>
Argila + matéria orgânica	<b>X</b>	<b>X</b>			<b>X</b>	<b>X</b>
<b>Quantitativas</b>						
Calha	<b>0,010</b>	<b>X</b>	X	X	<b>0,010</b>	<b>X</b>
Idade da galeria (anos)	<b>X</b>	<b>0,061</b>			<b>X</b>	<b>0,061</b>
Observações						

X: não inserida na etapa; \*: não adequação

**TABELA A.4.43**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo multivariado – nível de impacto casual.

Características	Valor-p das etapas					
	2 em relação sem grau		3 em relação sem grau		4 em relação sem grau	
	1	2	1	2*	1	2
Degrau (sim)	0,244	X	0,690	X	0,995	X
Turbidez da água						
2) Nível 1	0,329	0,437	0,086	<b>0,039</b>	0,998	0,999
4) Nível 3	X	X	X	X	X	X
Classe da declividade						
2) C	0,532	X	0,649	X	0,992	X
D + E	0,354	X	0,438	X	0,990	X
Declividade	0,226	X	0,621	X	0,989	X

X: não inserida na etapa; \*: não adequado

**TABELA A.4.44**

Processo de seleção de características para o ajuste do modelo Beta Inflacionário em relação ao casual.

Características	Valor-p														
<b>Catégoricas</b>															
Degrau	0,532	0,900	X	X	X	X	X	0,805	X	X	X	0,389	X	X	X
Turbidez da água															
Nível 2	0,161	0,080	0,020	0,087	0,134	<b>0,027</b>	0,053	X	X	X	X	X	X	X	X
Nível 3	0,058	<b>0,0 22</b>	<b>0,030</b>	0,172	<b>0,007</b>	<b>0,005</b>	0,142	X	X	X	X	X	X	X	X
Tipo de sedimento															
Areia	0,994	X	0,172	X	X	X	X	X	0,485	X	X	0,088	0,038	0,118	X
Areia + matéria orgânica	1,000	X	1,000	X	X	X	X	X	1,000	X	X	1,000	1,000	1,000	X
Argila + matéria orgânica	0,113	X	0,235	X	X	X	X	<b>X</b>	0,134	X	<b>X</b>	0,365	0,420	0,485	<b>X</b>
Classe da declividade															
B	0,645	X	X	0,427	X	X	0,459	0,354	0,378	0,399	0,345	X	X	X	X
C	0,739	X	X	0,327	X	X	0,460	0,183	0,247	0,120	0,144	X	X	X	X
D	0,094	X	X	<b>0,016</b>	X	X	0,063	<b>0,003</b>	<b>0,007</b>	<b>0,002</b>	<b>0,004</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
E	0,968	X	X	0,776	X	X	0,667	0,445	0,360	0,555	0,385	X	X	X	X
<b>Quantitativas</b>															
Calha	0,452	X	X	X	0,241	X	X	X	X	0,365	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>0,126</b>	<b>X</b>	<b>0,244</b>
Declividade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Idade da galeria (anos)	0,799	X	X	X	X	<b>0,007</b>	0,247	X	X	X	0,482	X	X	0,858	<b>0,216</b>

X: não inserida na etapa; \*: não adequado

**Continuação tabela A.4.44**

<b>Características</b>	<b>Valor-p</b>								<b>Final</b>		
<b>Catégoricas</b>											
Degrau	0,589	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Turbidez da água											
Nível 2	X	0,125	X	X	<b>X</b>	<b>0,073</b>	X	X	<b>0,073</b>	X	X
Nível 3	X	0,173	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>0,005</b>	X	X	<b>0,005</b>	X	X
Tipo de sedimento											
Areia	X	X	0,291	X	X	X	<b>0,025</b>	X	X	<b>0,025</b>	X
Areia + matéria orgânica	X	X	1,000	X	X	X	1,000	X	X	1,000	X
Argila + matéria orgânica	X	X	0,182	X	X	X	0,458	<b>X</b>	X	0,458	<b>X</b>
Classe da declividade											
B	X	X	X	X	X	X	X	0,319	X	X	0,319
C	X	X	X	X	X	X	X	0,093	X	X	0,093
D	X	X	X	X	X	X	X	<b>&lt;0,001</b>	X	X	<b>&lt;0,001</b>
E	X	X	X	X	X	X	X	0,447	X	X	0,447
<b>Quantitativas</b>											
Calha	X	X	X	0,359	X	X	X	X	X	X	X
Declividade	<b>0,010</b>	0,094	<b>0,020</b>	<b>0,008</b>	<b>0,005</b>	X	X	X	X	X	X
Idade da galeria (anos)	X	X	<b>X</b>	X	0,218	X	X	X	X	X	X

X: não inserida na etapa; \*: não adequado

**Apêndice 5.**  
**Investigações estatísticas - Análise complementar**

## **A.5 Investigações estatísticas - Análise complementar**

### **Objetivos**

Avaliar associação das características de grau e rampa com classe da declividade.

Realizar as comparações entre nível de impacto e classe da declividade para as cinco variáveis respostas de interesse (abrasão, cavitação, ataque químico, assoreamento e casual).

### **Etapas da análise estatística**

#### **Comparações entre características categóricas**

As comparações entre o nível de impacto e a classe da declividade, e entre a classe da declividade e o de grau e rampa foram realizadas a partir de tabelas de contingência sendo aplicado o teste Qui-Quadrado de Pearson. Na presença de pelo menos uma frequência esperada menor que 5, foi utilizado o teste exato de Fisher.

Destaca-se que as comparações do nível de impacto para abrasão com a classe da declividade não puderam ser realizadas na forma original (categorização 1, Tabela 5), devido ao grande número de categorias. Portanto, as categorias da classe da declividade foram agrupadas em: A + B versus C versus D + E (indicado por 2). Ressalta-se que, na análise univariada do relatório anterior, já haviam sido realizadas as comparações entre classe da declividade e nível de impacto. As análises foram realizadas através do *software* R versão 2.7.1 e EpiInfo versão 6.04, ambas de domínio público. O nível de significância adotado foi de 5%.

#### **Modelos multivariados**

Os modelos finais apresentados no relatório final foram reajustados excluindo as características de grau e rampa e incluindo classe da declividade. A adequação do modelo foi avaliada pela Deviance.

### **Resultados**

#### **Comparações entre classe da declividade e de grau/rampa**

A Tabela A.5.1 apresenta as comparações entre a classe da declividade (na forma original e agrupada como utilizada nos ajustes dos modelos multivariados) e de grau. Observa-se valor-p inferior a 0,001, indicando associação entre as duas características.

**TABELA A.5.1**

Comparação entre a classe da declividade e degrau

Características	Degrau				Valor-p
	Sim		Não		
	n	%	n	%	
Classe da declividade					
1) A	3	3,2	90	96,8	<b>&lt;0,001<sup>2</sup></b>
B	29	27,1	78	72,9	
C	58	45,7	69	54,3	
D	22	61,1	14	38,9	
E	2	50,0	2	50,0	
Sem informação	0	-	1	-	
2) A + B	32	16,0	168	84,0	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
C	58	45,7	69	54,3	
D + E	24	60,0	16	40,0	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

A Tabela A.5.2 apresenta as comparações entre a classe da declividade (na forma original e agrupada como utilizada nos ajustes dos modelos multivariados) e rampa. Assim como para a Tabela A.5.1, observa-se valor-p inferior a 0,001, indicando associação entre rampa e classe da declividade.

**TABELA A.5.2**

Comparação entre a classe da declividade e rampa

Características	Rampa				Valor-p
	Sim		Não		
	n	%	n	%	
Classe da declividade					
1) A	2	2,1	91	97,9	<b>&lt;0,001<sup>2</sup></b>
B	12	11,2	95	88,8	
C	31	24,4	96	75,6	
D	6	16,7	30	83,3	
E	0	0,0	4	100,0	
Sem informação					
2) A + B	14	7,0	186	93,0	<b>&lt;0,001<sup>1</sup></b>
C	31	24,4	96	75,6	
D + E	6	15,0	34	85,0	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

## Comparações entre nível de impacto e classe da declividade e novo ajuste dos modelos finais

### Abrasão

A Tabela A.5.3 apresenta a comparação entre o nível de impacto para abrasão e classe da declividade.

Por apresentar valor-p inferior a 0,25 (valor-p <0,001) observa-se que esta característica foi indicada a participar do ajuste do modelo multivariado.

**TABELA A.5.3**

Comparação do nível de impacto para abrasão e classe da declividade

Características	Nível de impacto para abrasão								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Classe da declividade									
1) A	60	64,5	12	12,9	21	22,6	0	0,0	...
B	68	63,5	13	12,2	24	22,4	2	1,9	
C	52	40,9	15	11,8	48	37,8	12	9,5	
D	19	52,8	3	8,3	13	36,1	1	2,8	
E	3	75,0	0	0,0	1	25,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	
2) A + B	128	64,0	25	12,5	45	22,5	2	1,0	<0,001 <sup>1</sup>
C	52	40,9	15	11,8	48	37,8	12	9,5	
D + E	22	55,0	3	7,5	14	35,0	1	2,5	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

Por estar associada ao degrau e rampa, que permaneceram no ajuste do modelo multivariado, optou-se por retirar estas duas características e reajustar o modelo final incluindo a classe da declividade. O modelo final é apresentado na Tabela A.5.4.

A primeira parte da tabela apresenta os resultados do ajuste do modelo de regressão quando comparado os trechos com nível de impacto 2 em relação aos sem nível (referência).

Desta forma, os trechos com classe da declividade C têm cerca de 4 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 2 do que aqueles de classe A ou B (valor-p=0,049). Não se observa diferença com significância estatística entre os trechos D ou E em relação aos trechos de classe da declividade A ou B (referência).

A chance dos trechos com turbidez da água nível 2 ou 3 não apresentarem nível de impacto para abrasão é 3,3 (OR= 1/0,3) vezes a chance de apresentarem turbidez de nível 1 (valor-p= 0,007 e 0,008, respectivamente).

Verifica-se que o aumento de uma unidade na declividade acarreta no acréscimo de 67% (OR=1/0,6-1) na chance do trecho não apresentar nível de impacto em relação aquelas que apresentam nível de impacto 2 (valor-p=0,042).

Valores-p superiores a 5% são observados para calha e idade da galeria indicando que estas características não estão associadas ao nível de impacto 2 em relação aos trechos sem nível.

Já a segunda parte da tabela apresenta os resultados das comparações entre o trecho com nível 3 em relação ao sem nível de impacto.

Os trechos com níveis 2 e 3 para turbidez da água têm menor chance ( $OR=0,1$  e  $0,5$ ) de apresentar nível de impacto 3 do que aqueles com nível de turbidez 1 ( $valor-p<0,001$  e  $valor-p=0,041$ , respectivamente).

Verifica-se que o aumento de um ano na idade da galeria acarreta no acréscimo de 10% na chance do trecho apresentar nível de impacto 3 para abrasão em relação aos trechos que não apresentam nível de impacto.

Valores-p superiores a 5% são observados para classe da declividade, calha e declividade da galeria indicando que estas características não estão associadas ao nível de impacto 3 para abrasão em relação aos trechos sem nível.

Por fim, a terceira parte da tabela apresenta os resultados das comparações entre os trechos com nível 4 e aqueles sem nível.

Verifica-se que o acréscimo de uma unidade na calha acarreta em aumento expressivo na chance do trecho apresentar nível de impacto 4 em relação aos trechos sem nível de impacto.

Não se observa diferença com significância estatística para as demais características ( $valor-p > 0,05$ ).

**TABELA A.5.4**

Modelo de regressão politômica – Nível de impacto para abrasão (com classe da declividade)

Modelo	Nível de impacto para abrasão			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-0,7	0,438		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	1,4	<b>0,049</b>	4,0	1,01 a 16,0
D + E	1,8	0,202	6,3	0,4 a 108,3
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-1,3	<b>0,007</b>	0,3	0,1 a 0,7
Nível 3	-1,2	<b>0,008</b>	0,3	0,1 a 0,7
Calha	1,1	0,066	3,0	0,9 a 10,0
Declividade	-0,5	<b>0,042</b>	0,6	0,4 a 0,98
Idade da galeria (anos)	0,01	0,736	1,0	1,0 a 1,1
<b>3 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-4,0	<0,001		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	0,4	0,428	1,4	0,6 a 3,5
D + E	-0,8	0,366	0,5	0,1 a 2,5
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-2,6	<b>&lt;0,001</b>	0,1	0,03 a 0,2
Nível 3	-0,7	<b>0,041</b>	0,5	0,3 a 0,97
Calha	0,04	0,947	1,0	0,4 a 3,0
Declividade	0,07	0,532	1,1	0,9 a 1,3
Idade da galeria (anos)	0,1	<b>&lt;0,001</b>	1,1	1,1 a 1,2
<b>4 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-28,5	0,065		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	1,4	0,264	3,9	0,4 a 41,7
D + E	0,6	0,803	1,9	0,01 a 249,6
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	3,6	0,081	35,7	0,6 a 1990,3
Nível 3	-15,3	0,997	*	*
Calha	2,3	<b>0,002</b>	10,7	2,4 a 48,5
Declividade	0,07	0,861	1,1	0,5 a 2,3
Idade da galeria (anos)	0,6	0,105	1,8	0,9 a 3,8

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

## Cavitação

A Tabela A.5.5 apresenta a comparação entre o nível de impacto para cavitação e classe da declividade.

Por apresentar valor-p inferior a 0,25 (valor-p= 0,001) observa-se que esta característica foi indicada a participar do ajuste do modelo multivariado (segunda categorização).

**TABELA A.5.5**

Comparação do nível de impacto para cavitação e classe da declividade

Características	Nível de impacto para cavitação								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Classe da declividade									
1) A	91	97,9	0	0,0	0	0,0	2	2,1	...
B	84	78,5	2	1,9	6	5,6	15	14,0	
C	80	63,0	0	0,0	11	8,7	36	28,3	
D	25	69,4	0	0,0	0	0,0	11	30,6	
E	4	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	
2) A + B	175	87,5	2	1,0	6	3,0	17	8,5	
C	80	63,0	0	0,0	11	8,7	36	28,3	
D + E	29	72,5	0	0,0	0	0,0	11	27,5	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

Por estar associada ao degrau e rampa, que permaneceram no ajuste do modelo multivariado, optou-se por retirar estas duas características e reajustar o modelo final incluindo a classe da declividade. O modelo final é apresentado na Tabela A.5.6.

A primeira parte da tabela apresenta os resultados do ajuste do modelo de regressão quando comparado o nível de impacto 2 para cavitação versus sem nível de impacto. Observa-se valor-p maior que 5% para todas as características o que indica não associação estatística destas características com a classificação do nível de impacto para cavitação 2 em relação aos trechos sem nível de impacto.

Na segunda parte da tabela são apresentados os resultados do ajuste do modelo comparando o nível de impacto 3 com os trechos sem nível de impacto.

Verifica-se que trechos de classe C de declividade têm, aproximadamente, 4 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 3 do que aqueles de classe A ou B (valor-p=0,040).

Não se observa diferença com significância estatística (valor-p > 0,05) entre trechos de nível 2 e 3 de turbidez da água em relação ao nível 1, calha e a idade da galeria quando se comparado nível de impacto 3 em relação aos trechos sem nível.

A terceira parte da tabela apresenta os resultados do ajuste do modelo de regressão polinômica comparando o nível de impacto 4 com e os trechos sem nível.

Verifica-se que a chance de trechos com classe de declividade C ou ainda D ou E apresentarem nível de impacto 4 é cerca de 3 vezes a chance daqueles trechos de classe A ou B (valor-p=0,012 e 0,043, respectivamente).

Os trechos com nível 2 de turbidez da água têm cerca de 3 vezes a chance de apresentarem nível de impacto 4 em relação aqueles com nível 1 de turbidez (valor-p=0,005). Não se observa diferença com significância estatística entre trechos com níveis de turbidez da água 1 e 3 (valor-p=0,429).

Nota-se que não há associação da calha com nível de impacto 4 para cavitação.

Verifica-se que o aumento de um ano na idade da galeria acarreta no acréscimo de 20% na chance do trecho apresentar nível de impacto 4 em relação aos trechos sem nível.

**TABELA A.5.6**

Modelo de regressão politômica – Nível de impacto para cavitação (com classe da declividade)

Modelo	Nível de impacto para cavitação			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-3,0	0,427		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	-20,3	0,998	*	*
D + E	-21,2	0,999	*	*
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-20,3	0,999	*	*
Nível 3	-21,4	0,999	*	*
Calha	-2,0	0,561	0,1	0,0 a 102,8
Idade da galeria (anos)	0,01	0,891	1,01	0,8 a 1,2
<b>3 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-5,5	<b>0,002</b>		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	1,2	<b>0,040</b>	3,5	1,1 a 11,4
D + E	-19,8	0,998	*	*
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	-20,3	0,997	*	*
Nível 3	0,1	0,939	1,1	0,3 a 3,7
Calha	-0,2	0,769	0,8	0,2 a 4,2
Idade da galeria (anos)	0,08	0,094	1,1	1,0 a 1,2
<b>4 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-8,9	<b>&lt;0,001</b>		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	0,91	<b>0,012</b>	2,5	1,2 a 5,0
D + E	0,96	<b>0,043</b>	2,6	1,03 a 6,7
Turbidez da água				
Nível 1			1,0	
Nível 2	1,2	<b>0,005</b>	3,3	1,4 a 7,4
Nível 3	0,4	0,429	1,5	0,6 a 4,0
Calha	-0,7	0,185	0,5	0,2 a 1,4
Idade da galeria (anos)	0,2	<b>&lt;0,001</b>	1,2	1,1 a 1,3

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

## Ataque químico

A Tabela A.5.7 apresenta a comparação entre o nível de impacto para ataque químico e classe da declividade.

Por apresentar valor-p inferior a 0,25 (valor-p =0,006) observa-se que esta característica foi indicada a participar do ajuste do modelo multivariado (segunda categorização).

**TABELA A.5.7**

Comparação do nível de impacto para ataque químico e classe da declividade

Características	Nível de impacto para ataque químico								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Classe da declividade									
1) A	73	78,5	14	15,5	5	5,4	1	1,1	...
B	78	72,9	17	15,9	10	9,3	2	1,9	
C	73	57,5	22	17,3	24	18,9	8	6,3	
D	21	58,3	7	19,4	6	16,7	2	5,6	
E	4	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	
2) A + B	151	75,5	31	15,5	15	7,5	3	1,5	<b>0,006<sup>1</sup></b>
C	73	57,5	22	17,3	24	18,9	8	6,3	
D + E	25	62,5	7	17,5	6	15,0	2	5,0	

1: Teste Qui-Quadrado de Pearson; 2: Teste exato de Fisher

Na Tabela A.5.8 é apresentado o ajuste do modelo de regressão politômica com a inclusão da classe da declividade. Observa-se que, ao contrário dos ajustes para abrasão e cavitação, após a retirada das características degrau e rampa, a classe da declividade não permaneceu no modelo final.

Os resultados não foram interpretados já que a classe da declividade não foi significativa.

**TABELA A.5.8**

Modelo de regressão politômica – Nível de impacto para ataque químico

Modelo	Nível de impacto para ataque químico			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação sem grau</b>				
Constante	-8,8	<b>&lt;0,001</b>		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	-0,5	0,194	0,6	0,3 a 1,3
D + E	-0,4	0,481	0,7	0,3 a 1,9
Calha	1,2	<b>0,021</b>	3,3	1,2 a 9,1
Idade da galeria (anos)	0,2	<b>&lt;0,001</b>	1,2	1,1 a 1,3
<b>3 em relação sem grau</b>				
Constante	-7,2	<b>&lt;0,001</b>		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	0,5	0,222	1,6	0,8 a 3,5
D + E	0,4	0,513	1,4	0,5 a 4,3
Calha	1,5	<b>0,006</b>	4,3	1,5 a 12,2
Idade da galeria (anos)	0,1	<b>&lt;0,001</b>	1,2	1,1 a 1,2
<b>4 em relação sem grau</b>				
Constante	-21,2	<b>0,002</b>		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	0,6	0,429	1,8	0,4 a 8,0
D + E	0,2	0,856	1,2	0,2 a 8,5
Calha	-227,8	0,988	*	*
Idade da galeria (anos)	0,5	<b>0,004</b>	1,6	1,2 a 2,9

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

## Assoreamento

A Tabela A.5.9 apresenta a comparação entre o nível de impacto para assoreamento e classe da declividade.

Por apresentar valor-p inferior a 0,25 (valor-p=0,150) observa-se que esta característica foi indicada a participar do ajuste do modelo multivariado (segunda categorização).

**TABELA A.5.9**

Comparação do nível de impacto para assoreamento e classe da declividade

Características	Nível de impacto para assoreamento						Valor-p
	0		2		3		
	n	%	n	%	n	%	
Classe da declividade							
1) A	85	91,4	8	8,6	0	0,0	...
B	95	88,8	7	6,5	5	4,7	
C	118	92,9	3	2,4	6	4,7	
D	36	100,0	0	0,0	0	0,0	
E	1	25,0	3	75,0	0	0,0	
Sem informação	0	-	1	-	0	-	
2) A + B	180	90,0	15	7,5	5	2,5	<b>0,150<sup>2</sup></b>
C	118	92,9	3	2,4	6	4,7	
D + E	37	92,5	3	7,5	0	0,0	

2: Teste exato de Fisher

Na Tabela A.5.10 é apresentado o ajuste do modelo de regressão politômica com a inclusão da classe da declividade. Observa-se que, ao contrário dos ajustes para abrasão e cavitação, após a retirada das características degrau e rampa, a classe da declividade não permaneceu no modelo final. Isto era esperado devido ao valor-p da análise univariada.

Os resultados não foram interpretados já que a classe da declividade não foi significativa.

**TABELA A.5.10**

Modelo final de regressão politômica – Nível de impacto para assoreamento

Modelo	Nível de impacto para assoreamento			
	Coef.	Valor-p	OR	IC 95%
<b>2 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-4,3	<0,001		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	-0,1	0,898	0,9	0,2 a 5,4
D + E	0,02	0,990	1,0	0,04 a 29,2
Tipo de sedimento				
Areia e areia+materia orgânicas	3,2	<0,001	25,7	6,4 a 103,1
Outros			1,0	
Calha	-4,3	<b>0,005</b>	0,01	0,0 a 0,3
Declividade	0,1	0,467	1,2	0,8 a 1,7
<b>3 em relação ao sem nível</b>				
Constante	-37,1	0,987		
Classe da declividade				
A + B			1,0	
C	1,4	0,422	4,1	0,1 a 126,2
D + E	-21,4	0,997	*	*
Tipo de sedimento				
Areia e areia+materia orgânica	29,2	0,990	*	*
Outros			1,0	*
Calha	9,3	<b>0,017</b>	*	*
Declividade	1,0	0,089	2,6	0,9 a 7,9

Coef.: Coeficiente; OR: *Odds Ratio*; IC: Intervalo de confiança; \*: intervalo não computado

## Casual

A Tabela A.5.11 apresenta a comparação entre o nível de impacto para casual e classe da declividade.

Por apresentar valor-p inferior a 0,25 (valor-p=0,186) observa-se que esta característica foi indicada a participar do ajuste do modelo multivariado (segunda categorização).

**TABELA A.5.11**

Comparação do nível de impacto para casual e classe da declividade

Características	Nível de impacto casual								Valor-p
	0		2		3		4		
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Classe da declividade									
1) A	64	68,8	28	30,1	1	1,1	0	0,0	...
B	80	74,8	25	23,3	2	1,9	0	0,0	
C	94	74,0	31	24,4	1	0,8	1	0,8	
D	26	72,2	7	19,5	3	8,3	0	0,0	
E	2	50,0	2	50,0	0	0,0	0	0,0	
Sem informação	1	-	0	-	0	-	0	-	
2) A + B	144	72,0	53	26,5	3	1,5	0	0,0	<b>0,186<sup>2</sup></b>
C	94	74,0	31	24,4	1	0,8	1	0,8	
D + E	28	70,0	9	22,5	3	7,5	0	0,0	

2: Teste exato de Fisher

Para nível de impacto casual não há modelo final. Observa-se que por apresentar valor-p superior a 0,05, a classe da declividade não é indicada a compor um modelo de regressão, indicando que não há associação entre o nível de impacto casual e a classe da declividade.

### **Conclusão**

Conclui-se que as características degrau e rampa estão associadas à classe da declividade. Esta associação influenciou no ajuste do modelo de regressão para nível de impacto para abrasão e para cavitação que, na ausência de degrau e rampa, teve a classe da declividade no modelo.

Vale destacar que para o ataque químico, que possuía valor-p na univariada ligeiramente maior que os demais, a exclusão do degrau e rampa não permitiu a entrada da classe da declividade no modelo.

Não havia sido ajustado modelo final para nível de impacto casual.

## **Apêndice 6.**

### **Investigação estatística –Validação do modelo**

## **A.6 Investigação estatística –Validação do modelo**

### **Metodologia**

Este estudo foi composto por 16 galerias, sendo que 12 foram utilizadas para o ajuste do modelo e as outras 4 para validação.

O objetivo da validação do modelo é comparar o comportamento do modelo proposto com o comportamento das outras 4 galerias.

### **Nível de impacto**

Para o nível de impacto foi calculada a probabilidade de cada trecho pertencer aos níveis 0, 2, 3 ou 4. Em seguida, verificou-se qual era a maior probabilidade entre as quatro e o nível correspondente a esta probabilidade foi utilizado como uma nova categorização. Por fim, foi realizado o cruzamento desta nova categoria com os níveis de impacto apresentados inicialmente, para que pudesse ser calculada a porcentagem de compatibilidade entre as duas categorizações, a real e a ajustada pelo modelo. Vale destacar que quando o nível não aparece nas equações (nível 4 de abrasão, por exemplo), é porque não existem entre as quatro galerias separadas para validação este nível.

### **Área ponderada pela área total**

Inicialmente, para as respostas relacionadas à porcentagem da área sob a área total, havia sido ajustado modelo de regressão binomial negativa. Entretanto, o processo de validação mostrou que os ajustes apesar de corretos não conseguiam predizer a área das 4 galerias. Assim, foi utilizada nova modelagem utilizando o modelo de regressão Beta Inflacionário, adequada ao excesso de zeros no banco e que trata a variável resposta como porcentagem.

## **Resultados**

### **Abrasão**

### **Nível de impacto**

As Equações 1, 2 e 3 apresentam, respectivamente, as probabilidades de cada trecho pertencer aos níveis 0, 2 ou 3, considerado informações de 4 galerias. Os modelos ajustados foram compostos pelas características de grau, rampa, turbidez da água, calha, declividade e idade da galeria. Não há nível 4 entre as quatro galerias separadas para validação.

A Tabela A.6.1 apresenta o cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para abrasão e as novas categorias, estabelecidas através do cálculo das probabilidades de cada trecho pertencer aos níveis 0, 2 ou 3. Observa-se que a nova categorização foi compatível em 91,1% dos trechos.

$$P(Y = 0) = \frac{1}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (1)$$

$$P(Y = 2) = \frac{\exp(A)}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (2)$$

$$P(Y = 3) = \frac{\exp(B)}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (3)$$

Sendo,

$$A = \begin{pmatrix} -0,9 + 1,4\text{Degrau} + 0,9\text{Rampa} - 1,0\text{Nivel}_2 - 0,8\text{Nivel}_3 + 0,9\text{Calha} - 0,2\text{Declividade} \\ + 0,05(\text{Idade da Galeria}) \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -3,6 + 0,4\text{Degrau} + 1,1\text{Rampa} - 2,7\text{Nivel}_2 - 0,8\text{Nivel}_3 - 0,1\text{Calha} - 0,04\text{Declividade} \\ + 0,1(\text{Idade da Galeria}) \end{pmatrix}$$

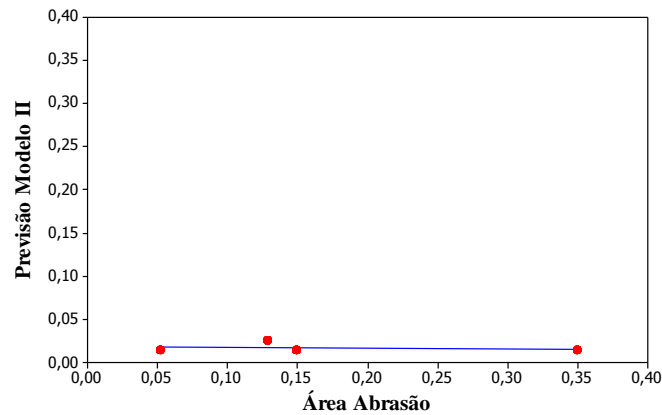
$$C = \begin{pmatrix} -26,7 - 19,6\text{Degrau} + 0,3\text{Rampa} + 2,7\text{Nivel}_2 - 16,4\text{Nivel}_3 + 2,7\text{Calha} \\ + 0,2\text{Declividade} + 0,6(\text{Idade da Galeria}) \end{pmatrix}$$

**TABELA A.6.1**

Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para abrasão e as novas categorias

Categoria original	Nova categoria			Porcentagem de acerto
	0	2	3	
0	51	0	1	91,1%
2	7	3	0	
3	0	0	28	





**FIGURA A.6.2:** Gráfico de dispersão para previsão do modelo II em relação à área de abrasão

## Cavitação

### Nível de impacto

As Equações 6, 7 e 8 apresentam, respectivamente, as probabilidades de cada trecho pertencer aos níveis 0, 3 ou 4, considerando informações de 4 galerias. Os modelos ajustados foram compostos pelas características degrau, rampa, turbidez da água, calha e idade da galeria.

A Tabela A.6.2 apresenta o cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para cavitação e as novas categorias, estabelecidas através do cálculo das probabilidades de cada trecho pertencer aos níveis 0, 3 ou 4. Observa-se que a nova categorização foi compatível em 78,9% dos trechos.

$$P(Y = 0) = \frac{1}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (6)$$

$$P(Y = 3) = \frac{\exp(B)}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (7)$$

$$P(Y = 4) = \frac{\exp(C)}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (8)$$

Sendo,

$$A = \begin{pmatrix} -21,0 + 20,4Degr\grave{a}u - 18,0Rampa - 18,9Nivel_2 - 18,6Nivel_3 - 2,7Calha \\ -0,1(Idade\ da\ Galeria) \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -5,5 + 0,8\text{Degrau} + 1,9\text{Rampa} - 20,5\text{Nível}_2 - 0,2\text{Nível}_3 - 0,1\text{Calha} \\ + 0,1(\text{Idade da Galeria}) \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} -9,1 + 2,3\text{Degrau} + 3,1\text{Rampa} + 1,3\text{Nível}_2 + 0,5\text{Nível}_3 - 0,8\text{Calha} \\ + 0,2(\text{Idade da Galeria}) \end{pmatrix}$$

**TABELA A.6. 2**

Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para cavitação e as novas categorias

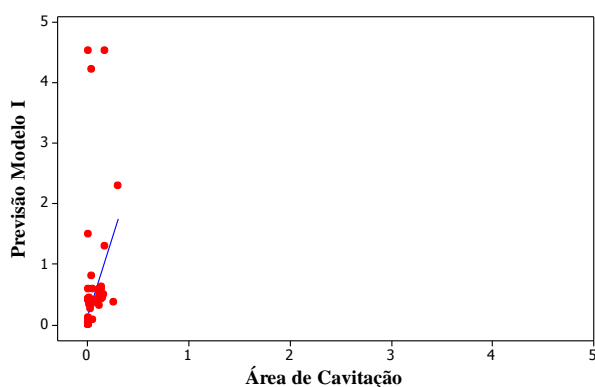
Categoria original	Nova categoria			Porcentagem de acerto
	0	3	4	
0	52	0	5	78,9%
3	2	0	7	
4	5	0	19	

### Área de cavitação ponderada pela área total

A Equação 8 apresenta o modelo de regressão Beta Inflacionário em relação à área de cavitação, considerado informações de 12 galerias. O modelo ajustado foi composto pelas características turbidez da água, calha, declividade e idade da galeria.

A Figura A.6.3 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 9 em relação à área de cavitação.

$$y = \exp \left( -6,9 - 0,5\text{Nível}_2 - 0,03\text{Nível}_3 + 0,7\text{Calha} + 0,2\text{Declividade} + 0,1\text{Idade da Galeria} \right) \quad (9)$$

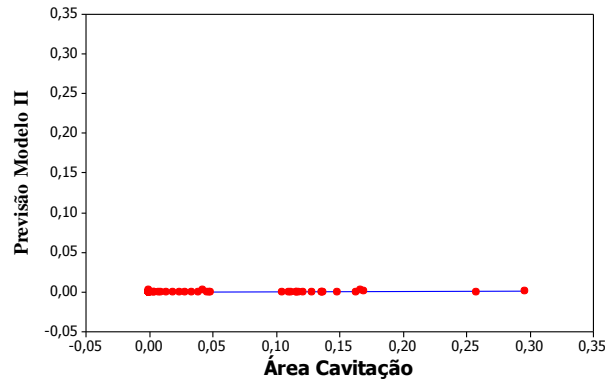


**FIGURA A.6.3:** Gráfico de dispersão da previsão do modelo I em relação à área de cavitação.

Já o segundo modelo ajustado foi composto pelas características tipo de sedimento, calha, declividade e idade da galeria.

A Figura A.6.4 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 10 em relação à área de cavitação.

$$y = \exp \left( \begin{array}{l} -6,9 + 2,5\text{Areia} + 0,4(\text{Areia} + \text{Materia Orgânica}) + 0,6(\text{Argila} + \text{Matéria Orgânica}) \\ + 0,8\text{Calha} + 0,2\text{Declividade} + 0,2(\text{idade da Galeria}) \end{array} \right) \quad (10)$$



**FIGURA A.6.4:** Gráfico de dispersão da previsão do modelo II em relação à área de cavitação.

## Ataque Químico

### Nível de impacto

As Equações 11, 12 e 13 apresentam, respectivamente, as probabilidades de cada trecho pertencer aos níveis 0, 2 ou 3, considerando informações de 4 galerias. Os modelos ajustados foram compostos pelas características degrau, rampa, calha e idade da galeria.

O cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para ataque químico e as novas categorias é apresentado na Tabela A.6.3. Observa-se que a nova categorização foi compatível em 60,0% dos trechos.

$$P(Y = 0) = \frac{1}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (11)$$

$$P(Y = 2) = \frac{\exp(A)}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (12)$$

$$P(Y = 3) = \frac{\exp(B)}{1 + \exp(A) + \exp(B) + \exp(C)} \quad (13)$$

Sendo,

$$A = 8,7 + 0,1\text{Degrau} + 1,2\text{Rampa} + 1,2\text{Calha} + 0,2(\text{Idade da Galeria})$$

$$B = 7,4 + 0,5\text{Degrau} + 1,9\text{Rampa} + 1,7\text{Calha} + 0,1(\text{Idade da Galeria})$$

$$C = 12,8 + 1,9\text{Degrau} - 19,2\text{Rampa} - 262,0\text{Calha} + 0,3(\text{Idade da Galeria})$$

**TABELA A.6.3**

Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para ataque químico e as novas categorias

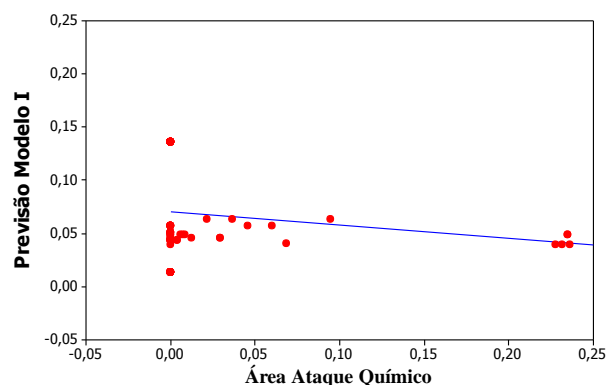
Categoria original	Nova categoria			Porcentagem de acerto
	0	2	3	
0	54	16	0	60,0%
2	4	0	0	
3	3	13	0	

### Área de ataque químico ponderada pela área total

O modelo ajustado foi composto pelas características, turbidez da água, tipo de sedimento e calha.

A Figura A.6.5 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 14 em relação à área de ataque químico.

$$y = \exp \left( \begin{array}{l} -2,0 - 1,1\text{Nível}_2 - 0,04\text{Nível}_3 - 0,8\text{Areia} - 1,2(\text{Areia} + \text{Materia Orgânica}) \\ + 0,8(\text{Argila} + \text{Matéria Organica}) + 1,1\text{Calha} \end{array} \right) \quad (14)$$



**FIGURA A.6.5:** Gráfico de dispersão da previsão do modelo I em relação à área de ataque químico.

## Assoreamento

### Nível de impacto

As Equações 15 e 16 apresentam, respectivamente, as probabilidades de cada trecho pertencer aos níveis 0 ou 2, considerado informações de 4 galerias. Os modelos ajustados foram compostos pelas características degrau, tipo de sedimento, calha e idade da galeria.

O cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para ataque químico e as novas categorias é apresentado na Tabela A.6.4. Observa-se que a nova categorização foi compatível em 94,4% dos trechos.

$$P(Y = 0) = \frac{1}{1 + \exp(A) + \exp(B)} \quad (15)$$

$$P(Y = 2) = \frac{\exp(A)}{1 + \exp(A) + \exp(B)} \quad (16)$$

Sendo,

$$A = \begin{pmatrix} -5,5 + 0,4\text{Degrau} + 4,0(\text{Areia e areia} + \text{matéria orgânica}) - 3,6\text{Calha} \\ + 0,2(\text{Idade da Galeria}) \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -31,6 + 2,3\text{Degrau} + 25,1(\text{Areia e areia} + \text{matéria orgânica}) + 6,1\text{Calha} \\ + 0,6(\text{Idade da Galeria}) \end{pmatrix}$$

**TABELA A.6.4**

Cruzamento entre as categorias originais do nível de impacto para assoreamento e as novas categorias

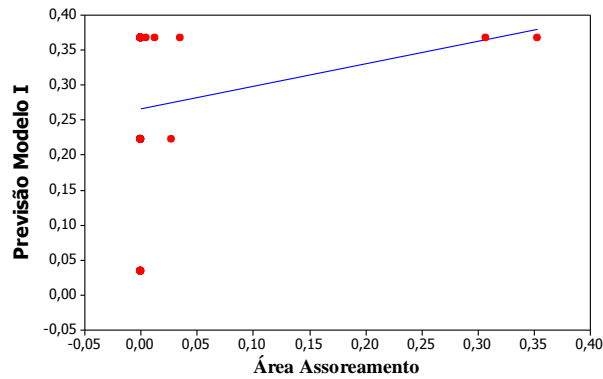
Categoria original	Nova categoria		Porcentagem de acerto
	0	2	
0	85	0	94,4%
2	5	0	

### Área de assoreamento ponderada pela área total

O modelo ajustado foi composto apenas pela característica turbidez da água, como no arquivo Relatório Final.

A Figura A.6.6 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 17 em relação à área de assoreamento.

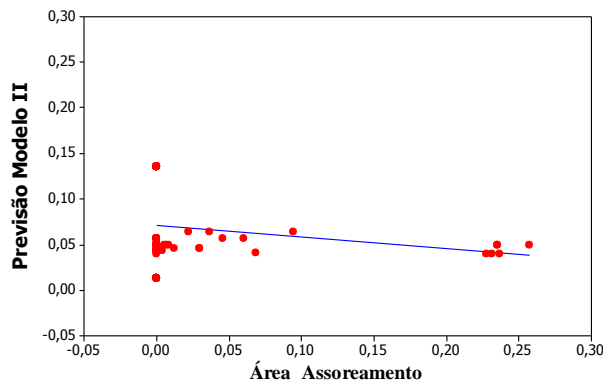
$$y = \exp \left( 1,0 - 2,4Nível_2 - 0,5Nível_3 \right) \quad (17)$$



**FIGURA A.6.6:** Gráfico de dispersão da previsão do modelo I em relação à área de assoreamento

O segundo modelo ajustado foi composto apenas pela característica tipo de sedimento. A Figura A.6.7 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 18 em relação à área de assoreamento.

$$y = \exp \left( 3,4 + 2,2Areia + 2,1(Areia + Matéria Orgânica) + 1,4(Argila + Matéria Orgânica) \right) \quad (18)$$



**FIGURA A.6.7:** Gráfico de dispersão da previsão do modelo II em relação à área de assoreamento

O terceiro modelo ajustado foi composto apenas pela característica calha.

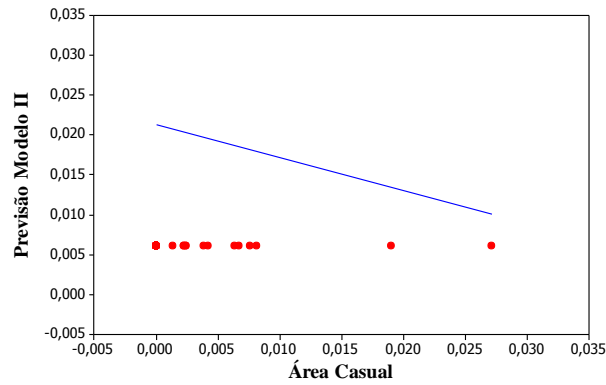
A Figura A.6.8 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 19 em relação a área de assoreamento.

$$y = \exp \left( 1,7 + 1,8Calha \right) \quad (19)$$



A Figura A.6.10 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 21 em relação à área casual.

$$y = \exp \left( 2,9 - 0,4\text{Areia} - 2,2(\text{Areia} + \text{Materia Orgânica}) + 0,2(\text{Argila} + \text{Matéria Orgânica}) \right) \quad (21)$$

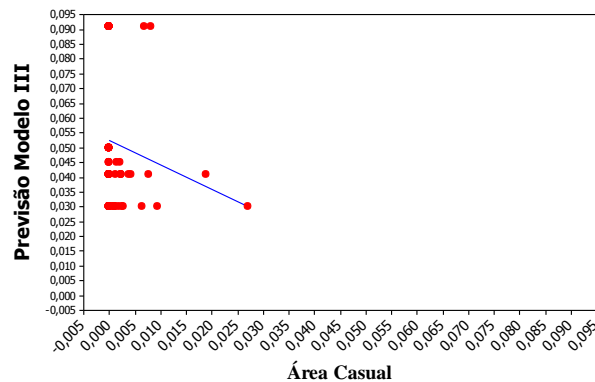


**FIGURA A.6.10:** Gráfico de dispersão da previsão do modelo II em relação à área de casual

E por fim foi ajustado o modelo com apenas a característica classe de declividade.

A Figura A.6.11 representa o gráfico de dispersão para a previsão baseada na Equação 22 em relação à área casual.

$$y = \exp \left( 3,5 + 0,3B + 0,4C + 1,1D + 0,5E \right) \quad (22)$$



## Conclusão

Por apresentarem relevantes porcentagens de concordância (acima de 60%) entre as previsões dos ajustes dos modelos de nível de impacto e os níveis reais das quatro galerias selecionadas para a validação, e ainda por visualmente apresentarem tendência crescente ( $y=x$ ) entre os valores previstos e as porcentagens reais das galerias tem-se a validação dos modelos ajustados. Vale destacar, que em relação à porcentagem da área total, a exceção são os modelos com apenas uma característica, cujos resultados se mantêm uniformes para todos os trechos de galerias com a mesma categoria de determinada característica (exemplo, Figura A.6.9: todos os trechos com nível 1 de turbidez da água terão previsão de 0,006, uma vez que neste modelo apenas esta características é levada em consideração).

### QUADRO A.6.1

Presença da característica no modelo de regressão e porcentagem de acerto.

Características	Nível de impacto			
	Abrasão	Cavitação	Ataque Químico	Assoreamento
Degrau	Sim	Sim	Sim	Sim
Rampa	Sim	Sim	Sim	Não
Turbidez da água	Sim	Sim	Não	Não
Tipo de sedimento	Não	Não	Não	Sim
Calha	Sim	Sim	Sim	Sim
Declividade	Sim	Não	Não	Sim
Idade da galeria (anos)	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Porcentagem de acerto</b>	<b>91,0%</b>	<b>78,9%</b>	<b>60,0%</b>	<b>94,4%</b>

O Quadro A.6.1 apresenta a característica do modelo de regressão politômica e a porcentagem de acerto. Os quadros seguintes, A.6.2, A.6.3 e A.6.4, mostram a presença das características no modelo, gráficos do observado versus preditos para abrasão, cavitação e ataque químico respectivamente.

### QUADRO A.6.2

Presença das características no modelo, gráfico do observado versus preditos - Abrasão

Características	Área ponderada pela área total	
	Abrasão	
	I	II
Turbidez da água	Sim	Não
Tipo de sedimento	Não	Sim
Classe da declividade	Não	Não
Calha	Não	Não
Declividade	Não	Não
Idade da galeria (anos)	Sim	Sim

Gráfico		
Conclusão	Validado	?

### QUADRO A6.3

Presença das características no modelo, gráfico do observado versus preditos - Cavitação

Características	Área ponderada pela área total	
	Cavitação	
	I	II
Turbidez da água	Sim	Não
Tipo de sedimento	Não	Sim
Classe da declividade	Não	Não
Calha	Sim	Sim
Declividade	Sim	Sim
Idade da galeria (anos)	Sim	Sim
Gráfico		
Conclusão	Validado	?

### QUADRO A.6.4

Presença das características no modelo, gráfico do observado versus preditos – Ataque químico

Características	Área ponderada pela área total	
	Ataque Químico	
	I	
Turbidez da água	Sim	
Tipo de sedimento	Sim	
Classe da declividade	Não	
Calha	Sim	
Declividade	Não	
Idade da galeria (anos)	Não	
Conclusão	Validado para menores porcentagens	

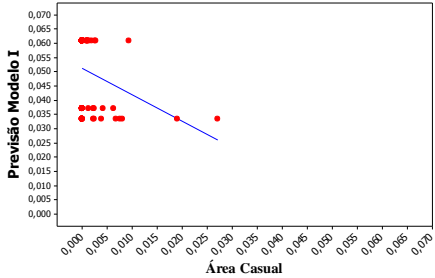
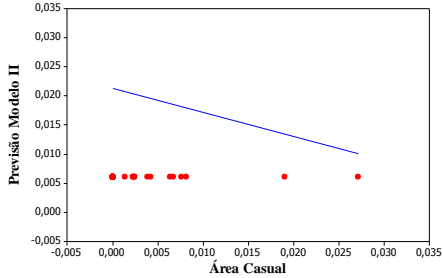
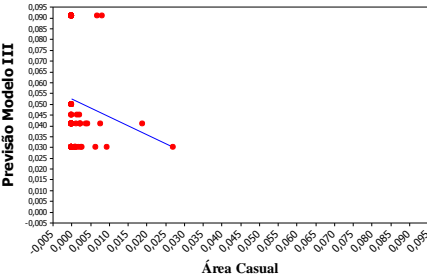
**QUADRO A.6.5**

Presença das características no modelo, gráfico do observado versus preditos – Assoreamento

Características	Área ponderada pela área total		
	Assoreamento		
	I	II	III
Turbidez da água	Sim	Não	Não
Tipo de sedimento	Não	Sim	Não
Classe da declividade	Não	Não	Não
Calha	Não	Não	Sim
Declividade	Não	Não	Não
Idade da galeria (anos)	Não	Não	Não
Gráfico			
Conclusão	Validado	Validado para menores porcentagens	?

**QUADRO A.6.6**

Presença das características no modelo, gráfico do observado versus preditos – Casual

Características	Área ponderada pela área total		
	Casual		
	I	II	III
Turbidez da água	Sim	Não	Não
Tipo de sedimento	Não	Sim	Não
Classe da declividade	Não	Não	Sim
Calha	Não	Não	Não
Declividade	Não	Não	Não
Idade da galeria (anos)	Não	Não	Não
Gráfico	 <p>Gráfico I: Previsão Modelo I vs Área Casual. O eixo Y varia de 0,000 a 0,070. O eixo X varia de 0,000 a 0,070. Há uma tendência geral de diminuição da previsão com o aumento da área casual.</p>	 <p>Gráfico II: Previsão Modelo II vs Área Casual. O eixo Y varia de -0,005 a 0,035. O eixo X varia de -0,005 a 0,035. Há uma tendência geral de diminuição da previsão com o aumento da área casual.</p>	 <p>Gráfico III: Previsão Modelo III vs Área Casual. O eixo Y varia de -0,005 a 0,095. O eixo X varia de -0,005 a 0,095. Há uma tendência geral de diminuição da previsão com o aumento da área casual.</p>
Conclusão	?	Validado para menores porcentagens	?

## **Apêndice 7**

### **Ensaio de avaliação de sulfetos**



## A.7 Ensaio de avaliação de sulfetos

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
SANITÁRIA E AMBIENTAL

## “Análise de Sulfeto Dissolvido em Galerias de Águas Pluviais de Belo Horizonte”

Analista: Vanessa Rodrigues de Melo

Orientador: Cláudio Leite de Souza

Agosto de 2011

### **Análise de Sulfeto Dissolvido em Galerias de Águas Pluviais**

#### 1. Introdução

Utiliza-se método espectrofotométrico para a análise de sulfeto dissolvido. A espectrofotometria de absorção molecular baseia na absorção de radiação eletromagnética por moléculas em solução. Quando a luz incide em um meio homogêneo, uma parcela da luz incidente é refletida, outra parcela é absorvida no meio e o restante é transmitido.

Para se realizar uma análise espectrofotométrica é necessário conhecer o espectro de absorção do analito que se quer determinar, ou seja, qual o comprimento de onda que ocorre absorção máxima e conseqüentemente melhor sensibilidade na quantificação.

O método consiste no seguinte: a fonte produz radiação eletromagnética constituída por uma infinidade de comprimentos de onda. O monocromador seleciona o comprimento de onda aonde ocorre absorção máxima pelo analito. Selecionado o comprimento de onda, a radiação eletromagnética passa pela amostra presente no interior de uma cubeta, aonde parte da radiação é refletida, parte absorvida e parte transmitida. A radiação

---

Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG

transmitida chega ao detector, e é convertida em sinal elétrico e mostra o valor em absorvância no visor do equipamento.

Absorvância é uma grandeza adimensional, portanto, não possui unidade.

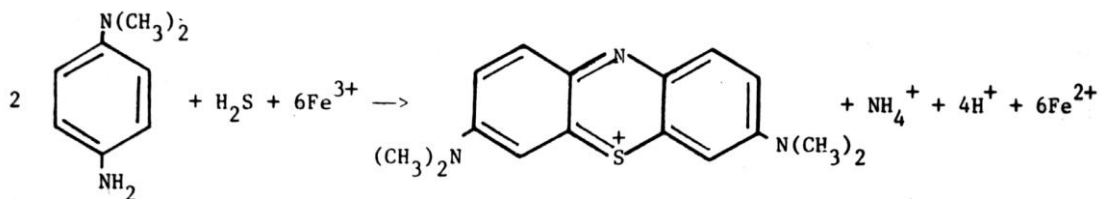
Para determinar a concentração do analito a partir da absorvância deve-se construir uma curva de calibração. Para isso prepara-se uma solução que possui concentração rigorosamente conhecida (garantida pela padronização da solução) da espécie que se quer determinar. A partir desta solução denominada solução padrão, realiza-se uma série de diluições (geralmente 4 ou 5). Como a concentração é conhecida, realiza-se leitura da absorvância de cada diluição e constrói a curva absorvância x concentração. A equação da reta gerada (estabelece relação entre absorvância e concentração) é usada para substituir o valor da absorvância (y) da amostra para obter a concentração (x) do analito.

### **Sobre a análise:**

As análises são realizadas segundo protocolo adaptado por Plas et. al.(1992), aplicável a águas com concentrações de até 20mg/L.

A coleta para determinação de sulfeto dissolvido deve ser feita com mínimo de agitação a fim de evitar desprendimento excessivo do gás sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). Adiciona-se hidróxido de sódio para alcalinizar o meio, afim de melhorar a ação coagulante do cloreto de alumínio. É utilizado acetato de zinco para a fixação do sulfeto sob a forma insolúvel sulfeto de zinco (ZnS).

O método de análise é espectrofotométrico, de formação de azul de metileno, baseado na reação do sulfeto com cloreto férrico e dimetil-p-fenilendiamina em meio ácido:



Então é feita a leitura da absorvância em espectrofotômetro com comprimento de onda de 663nm (comprimento de onda em que ocorre absorção máxima).

## 2. Recursos Necessários

### 2.1.Substâncias

- Água miliq;
- Solução de Hidróxido de Sódio 6N;
- Solução saturada de Cloreto de Alumínio;
- Solução de Acetato de Zinco [(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>Zn] 0,01N;
- Solução de Sulfato Férrico Amoniacal FeNH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>) 10% m/v;
- Solução de DMPD 0,2% m/v;
- Solução de Tiosulfato de Sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0,025N;
- Solução de Iodo 0,025N;
- Solução de Dicromato de Potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 0,025N;
- Sulfeto de Sódio Nonahidratado 1g.S<sup>-2</sup>/L.;
- Solução de amido;
- Ácido Sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>);
- Solução de Ácido Clorídrico (HCl) 6N;

- Iodeto de Potássio P.A.

## 2.2 Materiais

- Béquer de 100mL;
- Suporte para tubos de ensaio;
- Tubo tipo Falcon de 15 mL;
- Pipetador para amido;
- Pipetador automático 50/500
- Pipetador automático 20/200
- Bureta de 50mL;
- Bureta de 25mL;
- Pipeta volumétrica de 20mL;
- Pipeta volumétrica de 10ml;
- Erlenmeyer de 250mL;
- Espátula;
- Balões volumétricos de 50mL;

## 2.2.Equipamento

- Espectrofotômetro *DR/2010 – HACH*;
- Balança Analítica *Sartorius Basic*;

## 3. Preparo de Soluções

### 3.1.Solução de Cloreto de Alumínio ( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ) - Saturada

- Medir 100g de  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$  em balança semi-analítica;
- Dissolver em 144mL de água miliq em um béquer com o auxílio de um bastão de vidro;
- Fazer ambiente em um frasco rotulado e transferir para ele a solução do béquer.

### 3.2.Solução de Hidróxido de Sódio ( $NaOH$ ) – 6,0N

- Medir 240g de  $NaOH$  em balança semi-analítica;
- Dissolver em cerca de 200mL de água miliq em um béquer utilizando um bastão de vidro;
- Transferir quantitativamente o conteúdo do béquer para balão volumétrico de 1000mL;
- Completar o volume do balão com água miliq até a marca indicadora de volume;
- Tampar o balão e homogeneizar;
- Fazer ambiente em um frasco rotulado e transferir para ele a solução do balão.

### 3.3.Solução de Acetato de Zinco ( $(CH_3COO)_2Zn$ ) - 0,1M

- Medir 20g de  $[(CH_3COO)_2Zn]$  em balança semi-analítica;
- Adicionar 0,2mL de ácido acético;
- Dissolver em cerca de 400mL de água miliq em um béquer com o auxílio de um bastão;
- Transferir quantitativamente o conteúdo do béquer para balão volumétrico de 1000mL;
- Completar o volume do balão com água miliq até a marca indicadora de volume;
- Tampar o balão e homogeneizar;

- Fazer ambiente em um frasco rotulado e transferir para ele a solução do balão.

### **3.4. Solução de DMPD – 2,0%*m/v***

- Medir 2,0g de DMPD em balança analítica;
- Dissolver em cerca de 200mL de água miliq com o auxílio de um bastão de vidro;
- Transferir quantitativamente o conteúdo do béquer para balão volumétrico de 1000mL;
- Em banho de gelo, adicionar 2000mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc. gota a gota;
- Completar o volume do balão com água miliq até a marca indicadora de volume;
- Tampar o balão e homogeneizar;
- Fazer ambiente em um frasco rotulado e transferir para ele a solução do balão.

### **3.5. Solução de Sulfato Férrico Amoniacal [FeNH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] - 10%*m/v***

- Medir 100g de [FeNH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] em balança semi-analítica;
- Dissolver em 500mL de água miliq e 20 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc. em um béquer com o auxílio de um bastão de vidro;
- Transferir quantitativamente o conteúdo do béquer para balão volumétrico de 1000mL;
- Completar o volume do balão com água miliq até a marca indicadora de volume;
- Tampar o balão e homogeneizar;
- Fazer ambiente em um frasco rotulado e transferir para ele a solução do balão.

### **3.6. Solução Padrão de Sulfeto de Sódio (Na<sub>2</sub>S.9H<sub>2</sub>O) – 1000mg/L S<sup>-</sup>**

- Desoxigenar água miliq injetando gás nitrogênio;
- Tarar um béquer de 100 mL com aproximadamente 20 mL de água miliq;
- Medir 7,5000g de sulfeto de sódio, deve-se pegar um cristal por vez, utilizando pinça não metálica e lavar com água miliq para eliminar possíveis impurezas;
- Transferir quantitativamente o conteúdo do béquer para um balão volumétrico de 1000mL e completar o volume até a marca indicadora de volume;

### **3.7. Solução Padrão de Tiosulfato de Sódio (Na<sub>2</sub>S.9H<sub>2</sub>O) – 0,025N**

- Medir 6,225g de tiosulfato de sódio P.A. em balança analítica usando béquer de 100mL;
- Dissolver em cerca de 80mL de água destilada com auxílio de um bastão de vidro;
- Transferir quantitativamente o conteúdo do béquer para balão volumétrico de 250mL;
- Completar o volume do balão com água destilada até a marca indicadora de volume;
- Pipetar 125mL da solução do balão e transferir para um balão de 500mL;
- Completar com água destilada até marca indicadora de volume, tampar o balão e homogeneizar;
- Fazer ambiente em um frasco rotulado e transferir para ele a solução do balão

## **4. Padronização de Soluções Padrão**

### **4.1. Padronização da Solução de Tiosulfato de Sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

- Preparar uma bureta de 50mL com solução de tiosulfato de sódio 0,025N;

- Em um erlenmeyer de 250mL devidamente limpo, adicionar:

- 20mL da solução de dicromato de potássio 0,025N;
- 1mL de ácido sulfúrico;
- Aproximadamente 1g de iodeto de potássio P.A.

*OBS 1: Após a adição do iodeto de potássio, o conteúdo do erlenmeyer ficará marrom.*

- Iniciar a titulação com pouca agitação, quando o conteúdo do erlenmeyer adquirir um tom amarelo pálido, adicionar 1mL de solução de amido (indicador).

*OBS 2: Com a adição do indicador, o conteúdo de erlenmeyer ficará roxo escuro.*

- Continuar a titulação com tiosulfato de sódio 0,025N até que a primeira gota do titulante torne a solução incolor (ou azul claro);

- Anotar o volume da solução de tiosulfato de sódio gasto em cada titulação, e calcular o fator de correção.

#### **4.2. Padronização da Solução de Iodo**

- Preparar uma bureta de 50mL com solução de iodo 0,025N;

- Em erlenmeyer de 250mL devidamente limpo, adicionar:

- 20mL de solução de tiosulfato de sódio 0,025N;
- 1mL de solução de ácido clorídrico 6N;
- 1mL de solução de amido (indicador);

*OBS 1: Mesmo com a adição do indicador, o conteúdo do erlenmeyer continuará incolor.*

- Titular com a solução de iodo 0,025N até que a primeira gota do titulante torne a solução azulada.

- Anotar o volume da solução de iodo gasto em cada titulação, e calcular o fator de correção.

#### **4.3. Padronização da Solução de Sulfeto de Sódio Nonahidratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )**

- Preparar uma bureta de 50mL com solução de tiosulfato de sódio 0,025N;

- Em erlenmeyer de 250mL devidamente limpo, adicionar:

- 10mL de solução de iodo 0,025N;
- 2mL de solução de sulfeto de sódio nonahidratado;
- 1mL de ácido clorídrico 6N;
- 1mL de solução de amido (indicador);

*OBS 1: Com a adição de indicador, o conteúdo do béquer ficará roxo.*

- Titular com a solução de tiosulfato de sódio 0,025N até que a primeira gota do titulante torne a solução incolor.

- Anotar o volume da solução de iodo gasto em cada titulação, e calcular o fator de correção.

## **5. Procedimento**

### **5.1. Curva de Calibração**

- Identificar balão volumétrico de 50mL de acordo com a concentração final da solução (0, 5, 10, 15, 20 e 25mg/L), e calcular o volume de sulfeto de sódio a ser adicionado a cada balão;

- Pipetar e diluir o volume calculado, respeitando a indicação dos balões;

- Identificar tubo tipo falcon de 15 mL de acordo com a concentração da solução de sulfeto de sódio que será adicionado;

*OBS 1: procedimento em triplicata.*

- Adicionar 10mL de acetato de zinco 0,01N nos tubos Falcon;

- Adicionar 200 µL de solução de sulfeto de sódio atentando à indicação contida no tubo;
  - Adicionar 1mL de solução de DMPD;
  - Adicionar 70 µL de solução de sulfato férrico amoniacal;
  - Tampar e homogeneizar o conteúdo dos tubos, aguardar 20 minutos;
  - Medir a absorbância em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 663nm;
- OBS 2: Para zerar o equipamento, utiliza-se água destilada.*

### 5.2. Coleta

- Preparar tubos tipo falcon com 10mL de solução de acetato de zinco 0,1M;
- Coletar amostra em frasco de DBO até a borda com o mínimo de aeração;
- Adicionar 200µL de solução de NaOH 6N para alcalinizar o meio (até pH 9);
- Coagular amostra adicionando 200µL de AlCl<sub>3</sub>;
- Homogeneizar;
- Esperar decantar por aproximadamente 15 minutos;
- Adicionar 200µL da amostra coagulada aos tubos tipo falcon previamente preparados e homogeneizar;
- Armazenar sob refrigeração até o momento da análise.

### 5.3. Análise

- Adicionar 1mL da solução de DMPD (0,5% m/v) a cada tubo;
  - Adicionar 70µL da solução de sulfato férrico amoniacal (10% m/v) a cada tubo;
  - Tampar os tubos tipo falcon firmemente, homogeneizar;
  - Aguardar 20 minutos de reação;
  - Medir absorbância no comprimento de onda de 663nm;
- OBS1: O espectrofotômetro é zerado com água destilada.*

## 6. Resultados

### 6.1. Padronizações

#### A) Padronização da Solução de Tiosulfato de Sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

- Fator de correção da solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,025N:

$Fc_{K_2Cr_2O_7} = \text{massa real} / \text{massa teórica}$   
 $Fc_{K_2Cr_2O_7} = 2,4552 / 2,4515$

$Fc_{K_2Cr_2O_7} = 1,0015$
----------------------------

- Volume de titulante (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) gasto:

- V<sub>1</sub>=18,6mL
- V<sub>2</sub>=18,5mL
- V<sub>3</sub>=17,7mL

*Volume Médio: 18,27mL*

- Fator de correção da solução de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,025N:

$$Fc_{Na_2S_2O_3} = \frac{V_{K_2Cr_2O_7} \cdot N_{K_2Cr_2O_7} \cdot Fc_{K_2Cr_2O_7}}{V_{Na_2S_2O_3} \cdot N_{Na_2S_2O_3}}$$

$$Fc_{Na_2S_2O_3} = \frac{20 \cdot 0,025 \cdot 1,0015}{18,27 \cdot 0,02}$$

$$Fc_{Na_2S_2O_3} = 1,0963$$

### B) Padronização da Solução de Iodo

- Volume de titulante (Iodo) gasto:

$$- V_1 = 20,2 \text{ mL}$$

$$- V_2 = 20,4 \text{ mL}$$

$$- V_3 = 20,7 \text{ mL}$$

$$\text{Volume Médio: } 20,43 \text{ mL}$$

- Fator de correção da solução Iodo 0,025N:

$$Fc_{\text{Iodo}} = \frac{V_{Na_2S_2O_3} \cdot N_{Na_2S_2O_3} \cdot Fc_{Na_2S_2O_3}}{V_{\text{Iodo}} \cdot N_{\text{Iodo}}}$$

$$Fc_{\text{Iodo}} = \frac{20 \cdot 0,025 \cdot 1,0963}{20,43 \cdot 0,025}$$

$$Fc_{\text{Iodo}} = 1,0732$$

### C) Padronização da Solução de Sulfeto de Sódio Nonahidratado ( $Na_2S_2 \cdot 9H_2O$ )

- Volume de titulante ( $Na_2S_2O_3$ ) gasto:

$$- V_1 = 5,0 \text{ mL}$$

$$- V_2 = 5,2 \text{ mL}$$

$$- V_3 = 5,2 \text{ mL}$$

$$\text{Volume Médio: } 5,13 \text{ mL}$$

- Concentração real da solução de  $Na_2S \cdot 9H_2O$ :

$$\text{mg/L } S^{2-} = \frac{(V_{\text{Iodo}} \cdot N_{\text{Iodo}} \cdot Fc_{\text{Iodo}}) - (V_{Na_2S_2O_3} \cdot N_{Na_2S_2O_3} \cdot Fc_{Na_2S_2O_3}) \times 16000}{V_{\text{amostra}}}$$

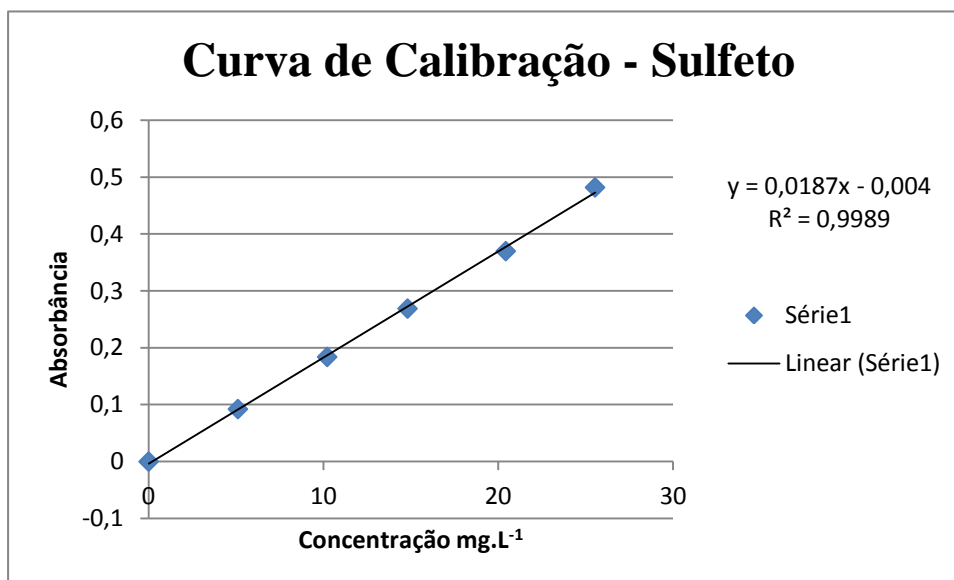
$$\text{mg } S^{2-} = \frac{(10 \cdot 0,025 \cdot 1,0732) - (5,13 \cdot 0,025 \cdot 1,0963) \times 16000}{2}$$

$$\text{mg/L } S^{2-} = 1021,596$$

## 6.2. Curva de Calibração

**Tabela A.7.1 – Construção da Curva de Calibração de Sulfeto**

Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Volume usado (mL)	Absorbância 1	Absorbância 2	Absorbância 3
0	0,00	0,006	0,006	0,002
5,10798	0,250	0,099	0,092	0,100
10,21596	0,500	0,174	0,203	0,189
14,81314	0,725	0,271	0,286	0,264
20,43192	1,000	0,370	0,366	0,388
25,5399	1,250	0,474	0,511	0,475



**Figura A.7.1** Curva de Calibração - Sulfeto

### 6.3. Análise

*Tabela A.7.2– Leitura e resultado obtido para amostras*

Coleta	Amostra	Absorbância 1	Absorbância 2	Absorbância 3	Concentração (mg/L . S <sup>-2</sup> )
1 <sup>a</sup>	A1 (antes)	0,010	0,011	0,011	<b>0,80</b>
	A2 (depois)	0,010	0,011	0,014	<b>0,85</b>
2 <sup>a</sup>	A3 (antes)	0,017	0,016	0,015	<b>1,08</b>
	A4 (depois)	0,014	0,014	0,016	<b>1,01</b>

**OBS1:** Amostras A1 e A2 correspondem à primeira coleta (Rua Dona Cecília, em frente ao número 333 – Serra), sendo A1 realizada antes do degrau e A2 depois do degrau.

**OBS2:** Amostras A3 e A4 correspondem à segunda, sendo A3 realizada antes do degrau e A4 depois do degrau.

## **Anexo 1-**

### **Dados do PDD-BH referentes às 16 galerias da pesquisa**

## **Anexo 1- Dados do PDD-BH referentes às 16 galerias da pesquisa**

Neste anexo estão sendo apresentadas em meio digital todas as informações referentes às 16 galerias obtidas junto ao Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte.. Estão no CD os seguintes documentos:

- Fichas de geometria
- Fichas de patologias
- Diagnósticos estruturais
- Fotografias