



**DIAGNOSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLOGICAS NA  
IMPERMEABILIZAÇÃO APLICADA EM LAJE DE USINA  
HIDRELÉTRICA – ESTUDO DE CASO**

CURITIBA

2014



ANDRÉ XAVIER DE FARIA

JÚLIO CESAR ZALPA

RENATO MASSARETTO

**DIAGNOSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA  
IMPERMEABILIZAÇÃO APLICADA EM LAJE DE USINA  
HIDRELÉTRICA – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia nas Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu* do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

**Prof. Orientador:** Prof. Msc. Kirke Andrew Wrubel Moreira.

CURITIBA

2014

## **AGRADECIMENTOS**

Aos engenheiros e funcionários pela valiosa colaboração por permitir acesso às instalações da usina hidrelétrica, no fornecimento de material e possibilitar o levantamento de campo deste trabalho.

A COPEL – Companhia Paranaense de Energia, na qual abriu as portas para a equipe, evidenciando com material de acervo próprio, sempre prontamente auxiliando no que foi preciso.

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

### **DIAGNOSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLOGICAS NA IMPERMEABILIZAÇÃO APLICADA EM LAJE DE USINA HIDRELÉTRICA – ESTUDO DE CASO**

Por

ANDRÉ XAVIER DE FARIA

JÚLIO CEZAR ZALPA

RENATO MASSARETTO

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS  
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS  
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) 13 de dezembro de 2014.

---

Prof. Kirke Andrew Wrubel Moreira, M.Sc

---

Prof. Marcelo Brandão, Esp

---

Mauricio Bianchini, M.Sc

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01. Usina Hidrelétrica GBM.....                            | 12 |
| Figura 02. Deterioração por Infiltração de Água.....              | 12 |
| Figura 03. Esquema de Usina Hidrelétrica.....                     | 14 |
| Figura 04. Casa de Força de UHE GBM.....                          | 12 |
| Figura 05. Lavagem da Superfície.....                             | 15 |
| Figura 06. Vista da Lavagem Superficial.....                      | 35 |
| Figura 07. Manutenção das Juntas de Movimentação.....             | 35 |
| Figura 08. Medidor de Umidade.....                                | 36 |
| Figura 09. Aplicação de Primer com Pistola.....                   | 36 |
| Figura 10. Aplicação de Primer com Espátula.....                  | 37 |
| Figura 11. Instalação da Manta Estruturante.....                  | 38 |
| Figura 12. Acabamento com aplicação à Rolo.....                   | 38 |
| Figura 13. Aplicação da Impermeabilização.....                    | 39 |
| Figura 14. Interface da Manta com o Trilho Metálico.....          | 41 |
| Figura 15. Canais para Captação de Água.....                      | 41 |
| Figura 16. Bolha na Impermeabilização.....                        | 42 |
| Figura 17. Fissuras Superficiais de Retração.....                 | 44 |
| Figura 18. Fissuras Após Formação de Bolha.....                   | 44 |
| Figura 19. Detalhe de Fissura Após Formação de Bolha.....         | 45 |
| Figura 20. Deslocamento Após Formação de Bolha.....               | 46 |
| Figura 21. Deslocamento sobre Caixa de Passagem.....              | 46 |
| Figura 22. Irregularidade na Superfície de Aplicação.....         | 47 |
| Figura 23. Deslocamento da Tinta Superficial.....                 | 48 |
| Figura 24. Fissura na Junta de Movimentação Estrutural.....       | 49 |
| Figura 25. Fissura na Junta de Movimentação.....                  | 49 |
| Figura 26. Fissura Próximo ao Perfil da Canaleta de Drenagem..... | 49 |
| Figura 27. Detalhe da Canaleta de Drenagem.....                   | 50 |
| Gráfico 01. Comparativo de Precipitação em Foz do Areia.....      | 33 |

## SUMÁRIO

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                   | <b>09</b>  |
| 1.1.PROBLEMA .....                           | 100        |
| 1.2.OBJETIVOS .....                          | 100        |
| 1.2.1.Objetivo Geral .....                   | 100        |
| 1.2.2.ObjetivoEspecífico.....                | 111        |
| 1.3.JUSTIFICATIVAS.....                      | 111        |
| 1.3.1.Tecnológicas .....                     | 111        |
| 1.3.2.Econômicas.....                        | 122        |
| 1.3.3.Ecológicas .....                       | 12         |
| 1.4.HIPÓTESE .....                           | 122        |
| <b>2.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>    | <b>133</b> |
| <b>3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>          | <b>155</b> |
| 3.1.USINAS HIDRELÉTRICAS .....               | 155        |
| 3.1.1.Definição de Usinas Hidrelétricas..... | 155        |
| 3.1.2Estrutura de Usinas Hidrelétricas.....  | 166        |
| 3.1.2.1.Casa de Força .....                  | 166        |
| 3.1.2.2.Turbinas.....                        | 177        |
| 3.1.2.3.Unidades Geradoras .....             | 18         |
| 3.2.INSPEÇÃO EM ESTRUTURAS .....             | 18         |
| 3.3.ORIGEM DE DANOS EM EDIFICAÇÕES.....      | 20         |
| 3.4.IMPERMEABILIZAÇÃO .....                  | 21         |
| 3.4.1.Definições.....                        | 21         |
| 3.4.2.Classificação.....                     | 22         |
| 3.4.2.1.Impermeabilização Rígida .....       | 23         |

|                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4.2.2.Impermeabilização Flexível .....                                       | 23         |
| 3.4.2.3.ImpermeabilizaçãoSemi-flexíveis.....                                   | 24         |
| <b>3.4.3 Projeto de Impermeabilização .....</b>                                | <b>25</b>  |
| <b>3.4.4.Escolha do Sistema de Impermeabilização.....</b>                      | <b>277</b> |
| <b>3.4.5.Fiscalização .....</b>                                                | <b>27</b>  |
| <b>3.4.6.Materiais para Impermeabilização .....</b>                            | <b>28</b>  |
| 3.4.6.1.Argamassa Impermeabilizante com Aditivo Hidrófugo .....                | 28         |
| 3.4.6.2. Argamassa Modificada com Polímero.....                                | 29         |
| 3.4.6.3. Argamassa Polimérica Semi-flexível .....                              | 29         |
| 3.4.6.4. Argamassa Polimérica Flexível .....                                   | 30         |
| 3.4.6.5. Cimento Modificado com Polímero .....                                 | 30         |
| 3.4.6.6. Material Asfáltico de Petróleo .....                                  | 30         |
| 3.4.6.7. Membrana Asfáltica.....                                               | 31         |
| 3.4.6.8. Asfaltos Oxidados .....                                               | 31         |
| 3.4.6.9. Emulsão Asfáltica .....                                               | 32         |
| 3.4.6.10.Membrana Elast. de Policloropreno e Polietileno Clorossulfonado ..... | 32         |
| 3.4.6.11Manta Asfáltica .....                                                  | 33         |
| 3.4.6.12.Manta de Policloreto de Vinila (PVC).....                             | 33         |
| 3.4.6.13.Manta de polietileno de alta densidade (PEAD) .....                   | 34         |
| 3.4.6.14.Membrana de Poliuréia .....                                           | 34         |
| 3.4.6.15Membrana de Poliuretano .....                                          | 35         |
| 3.4.6.16.Estruturante.....                                                     | 37         |
| <b>4.ESTUDO DE CASO .....</b>                                                  | <b>38</b>  |
| 4.1.HISTÓRICO .....                                                            | 38         |
| <b>4.1.1.Usina Hidrelétrica de Foz do Areia.....</b>                           | <b>38</b>  |

|                                                                |                                       |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>4.1.2.Aplicação do Sistema de Impermeabilização.....</b>    | <b>39</b>                             |
| 4.1.2.1.Período da Aplicação .....                             | 39                                    |
| 4.1.2.2.Dados de Precipitações.....                            | 39                                    |
| <b>4.2.REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO.....</b>                         | <b>40</b>                             |
| <b>4.3.ANÁLISES E DISCUSSÕES .....</b>                         | <b>41</b>                             |
| <b>4.3.1.Projeto de Impermeabilização .....</b>                | <b>411</b>                            |
| 4.4.Procedimento Executado.....                                | 41                                    |
| <b>4.4.1 Preparação da Superfície.....</b>                     | <b>42</b>                             |
| <b>4.4.2 Controle da Umidade .....</b>                         | <b>44</b>                             |
| <b>4.4.3. Imprimação do Substrato.....</b>                     | <b>45</b>                             |
| <b>4.4.4.Aplicação de Manta Estruturante .....</b>             | <b>46</b>                             |
| <b>4.4.5.Aplicação de Material Impermeabilizante .....</b>     | <b>48</b>                             |
| 4.5.ANÁLISES GERAL DA APLICAÇÃO .....                          | 48                                    |
| 4.6.MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....                             | 51                                    |
| <b>4.6.1.Bolhas.....</b>                                       | <b>51</b>                             |
| <b>4.6.2.Fissuras .....</b>                                    | <b>53</b>                             |
| <b>4.6.3 Deslocamento de Material.....</b>                     | <b>55</b>                             |
| <b>4.6.4 Irregularidade na Superfície de Aplicação.....</b>    | <b>57</b>                             |
| <b>4.6.5 Deslocamento da Tinta Superficial.....</b>            | <b>57</b>                             |
| <b>4.6.6.Fissura em Junta de Movimentação.....</b>             | <b>58</b>                             |
| <b>4.6.7.Fissura na Interface das Canaletas Metálicas.....</b> | <b>59</b>                             |
| <b>5.CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                            | <b>61</b>                             |
| <b>6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                       | <b>63</b>                             |
| <b>7.APENDICE .....</b>                                        | <b>Erro! Indicador não definido.5</b> |

## 1.INTRODUÇÃO

Desde o início das edificações, o homem vem se especializando na forma de construir, implantando projetos e processos cada vez mais complexos, inovadores, desafiadores, visando sempre a necessidade de estar em constante melhoria.

A necessidade básica de abrigo e conforto vem a cada período de tempo exigindo mais dos idealizadores de edificações. Ou seja, as obras desenvolvidas estão se especializando no intuito de atender as novas demandas criadas no mundo moderno, propiciando aos usuários bem estar e prazer ao utilizar as instalações.

Durante todo o período na qual o homem desenvolveu a engenharia, são diversos os materiais básicos utilizados na confecção das edificações, tais como madeira, pedra, metais, cerâmica, vidros e por último, polímeros de diversos tipos.

Tendo em mente a utilização de todo material disponível para idealização das nossas edificações atuais, existe a preocupação na longevidade do que se edifica, tornando o empreendimento viável economicamente e estável, seguro e confortável ao usuário. Para tal, deve-se levar em conta uma forma de proteção de todos os materiais aplicados nas edificações.

Com isso, houve um desenvolvimento natural de um sistema integrado as edificações que tinha por objetivo proteção dos materiais em utilização, protegendo de agentes externos e internos, solicitações aplicadas por máquinas e equipamentos, intempéries naturais devido a região de localização, entre outros. Esse sistema foi aprimorado ao longo do tempo, surgindo novos materiais, formas de aplicação e métodos de utilização.

O sistema de impermeabilização tem o objetivo de proteger a estrutura contra a umidade e gases, visando o maior desempenho da estrutura. O mercado oferece diversos sistemas que têm aplicações definidas, para cada tipo de área há diversos materiais e sistemas (marcas) disponíveis, sendo sua escolha definidos

pelo custo, pela área, local, problemas apresentados e forma de aplicação (Yazigi, 1999).

### 1.1. PROBLEMA

Existe grandes reclamações dos usuários da usina quanto a permeabilidade de água pela laje próximo as escotilhas. Apesar da execução de impermeabilização, ainda existe regiões na qual o problema inicial de infiltração de água não foi resolvido.

Em uma análise criteriosa, observa-se pontos de infiltração no pavimento sub-solo 1 da usina. São pontos localizados, onde apresentam um volume grande de água em dias com chuvas intensas.

Observa-se também que parte da água infiltrada percola pelo concreto, descendo pelas paredes, danificando pintura e rodapé da edificação.

Em uma análise na laje superior, onde foi impermeabilizada há aproximadamente 1 (um) ano, pode-se identificar diversos pontos onde há falha na impermeabilização.

É fácil identificar também pontos onde houve execução de reparos na impermeabilização. Entretanto, os reparos realizados não estão a contento, apresentando defeitos, consequentemente aberturas na camada impermeabilizadora.

### 1.2. OBJETIVOS

#### 1.2.1. Objetivo Geral

Diagnosticar as manifestações patológicas presentes na impermeabilização da laje de acesso da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia,

identificando, classificando e analisando os danos ocorridos após a aplicação do sistema impermeabilizante.

### **1.2.2. Objetivo Específico**

Para diagnosticar as irregularidades apresentadas pelo sistema de impermeabilização da laje

- Identificar danos aparentes no sistema de impermeabilização;
- Descrever os danos atentando para detalhes que possam indicar origem e causa dos danos;
- Classificar as manifestações patológicas identificadas;
- Diagnosticar os defeitos, visando apontar as causas prováveis.

## **1.3. JUSTIFICATIVAS**

### **1.3.1. Tecnológicas**

Devido ao dinamismo do mercado atual, existe uma infinidade de produtos e soluções disponíveis para utilização. Entretanto, cabe ao idealizador do projeto a definição da opção a ser utilizada.

Com essa infinidade de fornecedores e materiais, é possível adotar diversas soluções diferentes para a mesma demanda, todas essas visando o sucesso absoluto na execução do serviço.

Entretanto, a quantidade de diferentes produtos cria uma incerteza na solução adotada ao projeto. A grande variedade de produtos pode dificultar o profissional na tomada de decisão, pois a similaridade entre eles é muito grande.

### **1.3.2. Econômicas**

Uma estrutura devidamente protegida tem sua vida útil garantida, evitando intervenções dispendiosas para recuperar a eficiência estrutural se esta estiver degradada.

No caso de imóveis residenciais, o custo da impermeabilização realizada no início da obra chega a 1% do valor do imóvel, essa impermeabilização executada para corrigir os problemas decorrentes da umidade, os custos podem chegar até 20 vezes o que se gastaria para prevenir, esse número depende do padrão construtivo empregado.

### **1.3.3. Ecológicas**

Uma impermeabilização bem feita, dentro das normas técnicas e seguindo todas as orientações do fabricante, aumenta a durabilidade da edificação, evitando assim reforma, demolição com a geração de entulho descartado em terrenos baldios e fundos de vales contribuindo para agressão do meio ambiente. Hoje com entrada em vigor da norma de desempenho esses resíduos gerados, devem ser enviados para usinas recicladoras para que seja efetuado o devido descarte ou reaproveitamento dos mesmos, aumentando os custos.

## **1.4. HIPÓTESE**

Durante a visita preliminar a usina, já pôde elencar algumas hipóteses para os problemas identificados. Entretanto, são tratadas como hipóteses, pois poderão ser comprovadas ou negadas mediante aos estudos e apresentação dos resultados encontrados futuramente.

As principais hipóteses que estão sendo vinculadas são:

- a) A solução adotada para impermeabilização é inadequada para ambientes com acesso de veículos com grandes cargas;
- b) Anteriormente a execução da impermeabilização, a regularização e limpeza da base para possibilitar uma perfeita ancoragem do produto a ser aplicado foram ineficientes;
- c) A execução da impermeabilização, ou seja, a aplicação do material escolhido foi realizada fora dos critérios estabelecidos pelo fabricante;
- d) A superfície de aplicação apresentava materiais estranhos antes da aplicação, tais como água, óleo, sujeira, material orgânico ou desgaste superficial do concreto da laje.

## **2.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Foi identificado, analisado, avaliado e descrito causas das manifestações patológicas presentes em uma impermeabilização de laje. Para tal, foi mapeados os pontos com defeitos aparentes, visando classificar os por diferença de manifestações patológicas.

A impermeabilização aplicada encontra-se em uma laje de grandes dimensões, medindo 200 metros de comprimento por 35 metros de largura, onde está submetida a grandes esforços: acesso de veículos e utilização de pórtico elevador de cargas. Possui algumas juntas de movimentação estrutural e diversos pontos de captação de água pluvial, integrando canaletas com ralos.

Essa laje é a peça estrutural que divide o pavimento térreo do primeiro subsolo da casa de força da Usina Hidrelétrica Governador Bento Munhoz da Rocha – UHE GBM – Foz do Areia, observado na figura 01.



**Figura 01.** Usina Hidrelétrica GBM (MEMÓRIA TÉCNICA DE UHE GBM, 1995)

A impermeabilização aplicada não apresenta desempenho suficiente para o local analisado. Percebe-se que em alguns pontos no teto do subsolo 1 e no mezanino, vestígios de infiltração de água, tais como: depósito de sais na superfície da parede, manchas esbranquiçadas próximo as juntas de movimentação e deslocamento da pintura nas salas do mezanino. Essa informação é observada na figura 02.

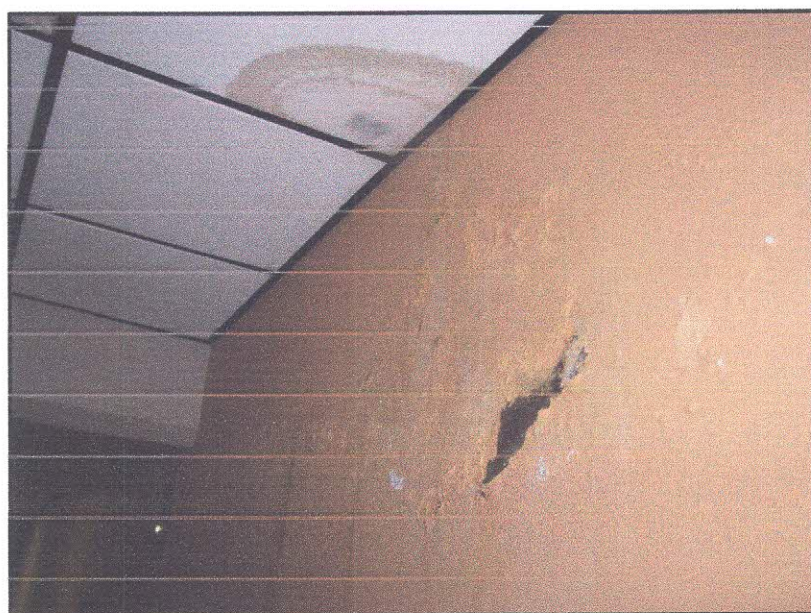


**Figura 02.** Deterioração por infiltração de água (ACERVO COPEL, 2012)

O local será inspecionado com auxílio de um *check list* desenvolvido específico (informar o anexo). Além do *check list*, será desenvolvido um relatório Figuragráfico através de câmara digital para ilustrar a pesquisa, servindo de material de apoio para estudo dos problemas e das manifestações patológicas existentes.

Para as medições em campo, será utilizado trena digital, paquímetro, espátula e estilete. Esses equipamentos auxiliarão na locação de pontos, medição de espessura de material utilizado, abertura de janelas de inspeção e retirada de camadas superficiais.

A verificação das especificações técnicas dos produtos utilizados será efetuada após as inspeções e análises em campo. Também serão analisados dos relatos presentes nos diários de obra da empresa responsável pela execução. Espera-se encontrar relatos como dificuldades de execução, descrição climática do período, limitações e exigências por parte do cliente final.

Os dados serão todos compilados, visando organizá-los e descrevê-los didaticamente. Com base em todas as análises descritas, estudam-se todas as informações obtidas visando à conclusão de um diagnóstico aos problemas apresentados. Esse diagnóstico será criterioso, apontando as causas e origens das manifestações presentes na obra. Será de grande valia também a proposta de correção, pois para tal será estudado possíveis soluções.

### **3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. USINAS HIDRELÉTRICAS**

##### **3.1.1. Definição de Usinas Hidrelétricas**

Segundo TOLMASQUIM (2003), as usinas hidrelétricas ou centrais geradoras hidrelétricas são definidas como um conjunto de obras e equipamentos, cuja finalidade é transformar a energia mecânica presente no fluxo de água de um

rio em energia elétrica. A potência instalada de uma usina é verificada por meio de estudos energéticos que são realizados por engenheiros mecânicos, eletricitistas e civis. A energia hidráulica disponível é convertida em energia mecânica por meio de uma turbina hidráulica, que por sua vez é convertida em energia elétrica por meio de um gerador, sendo a energia elétrica transmitida para uma ou mais linhas de transmissão interligada ao sistema interligado nacional. O potencial hidráulico é proporcional à vazão hidráulica e pela concentração dos desníveis existentes ao longo do curso de um rio. A figura 03 ilustra a disposição de uma usina hidrelétrica.

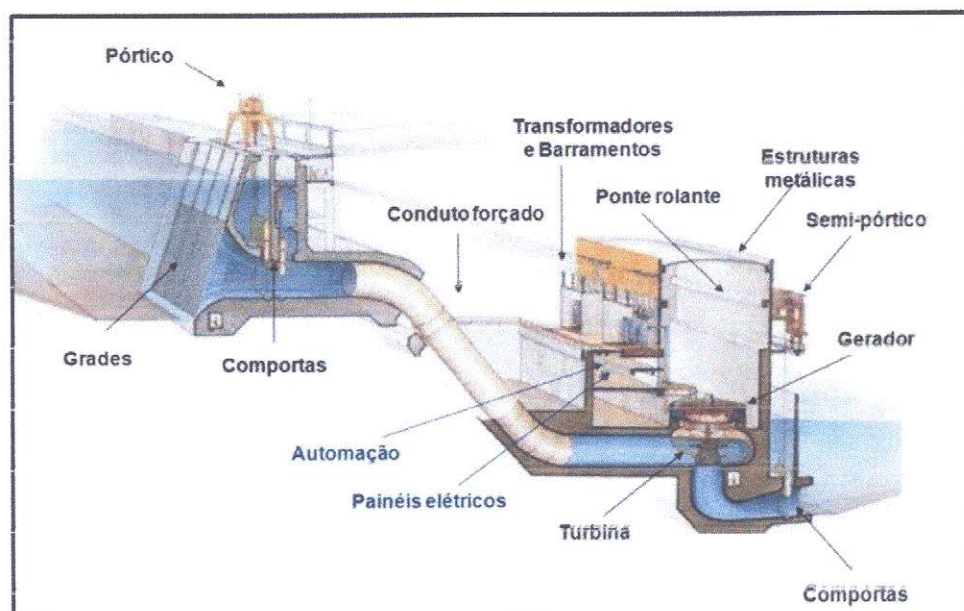


**Figura 03.** Esquema de Usina Hidrelétrica (ELETROBRÁS, 2014)

### 3.1.2. Estrutura de Usinas Hidrelétricas

#### 3.1.2.1. Casa de Força

A Casa de Força é um elemento constituinte das usinas geradoras de energia elétrica através da água, as chamadas hidrelétricas. O processo desta modalidade de usina conversora baseia-se na transformação de energia potencial gravitacional presente no volume de água situado na barragem, em níveis

superiores, em energia mecânica (cinética) pelas turbinas e em seguida em energia elétrica pelos geradores. A água captada no reservatório é levada até a casa de força através de túneis, canais ou condutos metálicos. Depois de passar pela turbina, a água é restituída ao leito natural do rio, processo chamado de canal de fuga. Na casa de força estão localizados os equipamentos eletromecânicos, as caixas espirais, as turbinas, os geradores, os sistemas de excitação e de regulação de velocidade (TOLMASQUIM, 2003).

Pode-se observar um detalhe da casa de força da UHE GBM na figura 04.

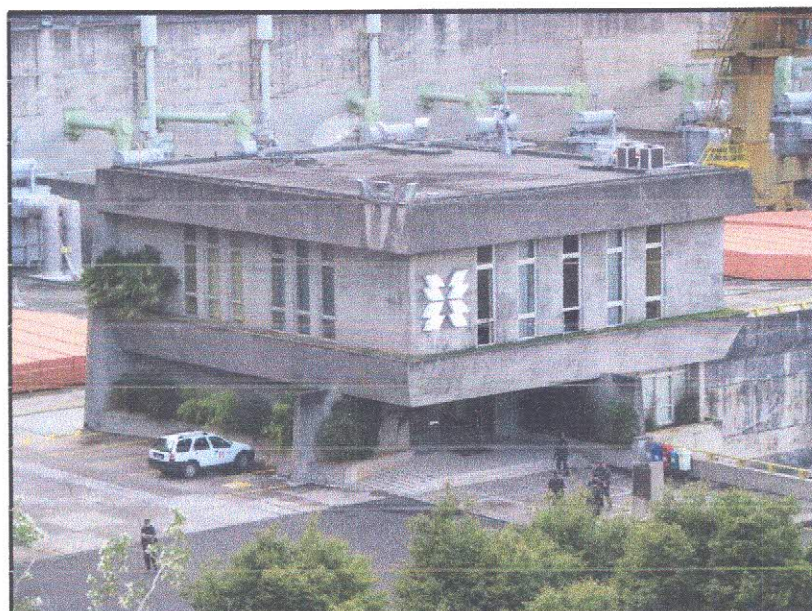


**Figura 04.** Casa de Força da UHE GBM (ACERVO COPEL, 2012)

#### 3.1.2.2. Turbinas

Estes equipamentos mecânicos possibilitam a conversão da energia potencial gravitacional presente na massa de água a montante da barragem e por conseguinte da casa de força, em energia cinética (mecânica), a qual é transmitida por meio de eixos metálicos, sejam eles verticais ou horizontais em relação ao plano do horizonte, às unidades geradoras (TOLMASQUIM, 2003).

Existem atualmente dois tipos básicos de turbinas hidráulicas: as de ação e as de reação. Nas turbinas a reação, a energia hidráulica disponível é convertida em cinética para posteriormente ser transformada em mecânica, tudo sob condições naturais de pressão atmosférica. No grupo das turbinas de reação, os rotores são imersos completamente no leito d'água, onde o fluxo resultante possibilita o aparecimento de um gradiente de pressão e velocidade entre a entrada e saída do rotor (TOLMASQUIM, 2003).

#### 3.1.2.3. Unidades Geradoras

De acordo com Tolmasquim (2003), os geradores são dispositivos eletromecânicos utilizados na conversão da energia mecânica (cinética) proveniente das turbinas em energia elétrica. O funcionamento deste depende da interação de campos magnéticos e condutores percorridos por fluxos eletrônicos. Este processo ocorre por meio da rotação de um conjunto de ímãs dentro de espirais metálicas. Este fenômeno faz com que os elétrons se movimentem em função de um campo eletromagnético, produzindo um fluxo elétrico.

### 3.2. INSPEÇÃO EM ESTRUTURAS

Tanto Marcelli (2010) quanto Bauer (2011) apresentam sistemáticas de elaboração de inspeções similares, utilizáveis em qualquer obra civil, acarretando na aplicação de ambas, em bons relatórios de inspeção.

Segundo Bauer (2011), as edificações e estruturas de concreto armado que apresentam algum tipo de manifestação patológica, e que precisem de algum reparo, o primeiro passo é o exame criterioso e detalhado das mesmas, por uma equipe técnica adequadamente treinada e capacitada, seja na área de concreto e seus constituintes, em materiais gerais, em cálculo estrutural ou em reparos. As inspeções ou exames iniciais têm como objetivo principal conhecer ou detectar os seguintes eventos:

- Identificação do problema;

- Determinação das possíveis causas que o desencadearam o problema;
- Quais elementos ou partes devem ser recuperados;
- Extensão a ser recuperada;
- Quais os métodos de recuperação podem ser utilizados;
- Escolha do método mais eficiente que traga maior durabilidade à estrutura recuperada.

Em seu método de inspeção, Bauer (2011) sustenta que a forma correta de apresentar os resultados da inspeção, é indicando os locais de ocorrência, graus de evolução e quantidades, em suas respectivas plantas baixas e de corte. Todas as anomalias verificadas devem ser representadas com a maior quantidade de detalhes possível. Às vezes, se faz necessário conhecer o histórico de evolução de cada dano, sendo necessário seu monitoramento ao longo do tempo, um exemplo é a aplicação de selos de gesso, para inferir sobre o crescimento das fissuras com o tempo.

Ainda segundo o mesmo autor, após uma avaliação preliminar de toda a edificação, procede-se pela aplicação de ensaios destrutivos e não destrutivos, a fim de refinar as afirmações diagnósticas, descritos a seguir:

#### Ensaio Destrutivo

- Análise das características do concreto e/ou argamassas mediante a retirada de amostras pela aplicação de brocas rotativas;
- Determinação do nível de resistência das amostras;
- Verificação das propriedades mecânicas do aço das armaduras, pela aplicação em laboratório de ensaios de compressão e tração.

#### Ensaio Não Destrutivo

- Verificar a resistência superficial do concreto e extrapolá-la para camadas mais internas por meio de esclerômetros;
- Utilização de aparelhos sônicos para verificar a ocorrência de vazios e descontinuidades na massa de concreto, prováveis locais de falhas;
- Localizar e identificar falhas de concretagens, tais como trincas internas, concretagem interrompida e ruptura/descontinuidade dos elementos de aço das armaduras.

### 3.3. ORIGEM DE DANOS EM EDIFICAÇÕES

Segundo Bauer (2011), a maior parte dos danos apresentados em elementos de uma edificação são do tipo evolutivo, onde em um prazo relativamente curto, poderão comprometer a estabilidade da mesma. A deterioração dos elementos constitutivos de uma edificação pode estar relacionada com muitas causas, separadas em grupos, a saber:

- Erros de projeto estrutural: falta de detalhamento ou detalhamento mal especificado, cargas ou tensões não levadas em consideração no cálculo estrutural, variações bruscas em elementos estruturais, falta ou deficiência em projetos de drenagem e por fim efeitos de fluência do concreto;
- Emprego de materiais inadequados: todos os materiais utilizados em obra devem ser criteriosamente conhecidos, mediante ensaios prévios, de acordo com Normas e Procedimentos relacionados. Deve-se verificar suas características especificadas pelos fabricantes e durante execução por um rigoroso controle tecnológico;
- Erros de execução: as principais causas oriundas da execução realizada de forma incorreta são má interpretação dos projetos executivos, adoção de métodos construtivos inadequados, falta

de limpeza de fôrmas, deslocamento, desalinhamento e perda de prumos, má colocação das armaduras, desfôrma precoce, erros na execução das juntas, recalques diferenciais, segregação do concreto, retração hidráulica e inobservância das boas práticas de engenharia pelos construtores;

- Agressividade do meio ambiente: o desconhecimento do ambiente construído implica alterações nas propriedades dos materiais empregados e por consequência do desempenho dos elementos construtivos, tendo como causas principais: reações químicas internas, fluência do concreto, corrosão química ou eletroquímica, erosões, abrasões, cavitações e ondas de choque.

### 3.4. IMPERMEABILIZAÇÃO

#### 3.4.1. Definições

De acordo com o dicionário Aurélio, impermeabilização é o “Processo pelo qual se torna impermeável um tecido, um papel, um revestimento”.

De acordo com o IBI (Instituto Brasileiro de Impermeabilização), impermeabilização “É uma técnica que consiste na aplicação de produtos específicos com o objetivo de proteger as diversas áreas de um imóvel contra ação de água que podem ser de chuva, lavagem, banhos ou de outras origens”.

De acordo com Bauer *et al* (2010), a principal função das coberturas impermeabilizantes é a de evitar a entrada de água, em suas diferentes formas físicas, nos componentes e aparelhos da edificação, a fim de não permitir o aparecimento de inúmeras manifestações patológicas, o que leva a uma redução do desempenho e qualidade da edificação. As formas de atuação dos elementos impermeabilizantes como barreira física se traduzem tanto no bloqueio absoluto como no direcionamento da massa de água em outra direção. O tipo de sistema de impermeabilização a ser escolhido depende da função à qual se presta a edificação e também de seu nível de habitabilidade.

Nos processos de concepção e projetos das obras civis, os profissionais diretamente responsáveis não tem prestado devida atenção aos fundamentos e necessidades dos sistemas impermeabilizantes, tendo como consequência a infiltração de água nas obras e o aparecimento de um conjunto bastante grande de processos deletérios como: corrosão de estruturas metálicas e armaduras, eflorescências, lixiviações, empolamento das camadas de tintas e argamassas, apodrecimento de elementos em madeira, oxidação dos sistemas elétricos e de sinais e outros, acarretando grandes custos na recuperação dos diferentes sistemas afetados e redução drástica na qualidade de ocupação dos prédios degradados, conhecida como nível de habitabilidade (BAUER *et al*, 2010).

Segundo Moreira (2013), o custo para aplicar uma barreira hidrófoba se situa na faixa de 1% a 3% do valor global da obra, podendo aumentar para até 20% em aplicações corretivas subsequentes. Isso ocorre devido aos custos indiretos quando da quebra de sistemas hidráulicos, pisos, e outras formas de acabamento, que deverão ser repostos.

### **3.4.2. Classificação**

Segundo a NBR 9575:2010 é um produto resultante de um conjunto de componentes e elementos construtivos que objetivam proteger as construções contra a ação deletéria de fluidos, de vapor e da umidade. Geralmente a impermeabilização é composta de um conjunto de camadas, com funções específicas.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Impermeabilização (IBI 2014), é uma técnica que consiste na aplicação de produtos específicos com o objetivo de proteger as diversas áreas de um imóvel contra ação de água que podem ser de chuva, lavagem, banhos ou de outras origens.

Segundo Moreira (2013), são procedimentos que visam proteger a estrutura contra a invasão de gases, umidades, água e ação de materiais trazidos pelo vento, com o objetivo de evitar a queda de durabilidade de uma construção.

De acordo com Ripper (1995) e Isaias et al. (2010), os sistemas de impermeabilização podem ser classificados em: rígidas, semi-flexíveis e flexíveis.

Segundo a NBR 9575:2010, os sistemas de impermeabilização se classificam apenas em rígidas e flexíveis.

#### 3.4.2.1. Impermeabilização Rígida

São sistemas de impermeabilização que não possuem flexibilidade, que limitam seu desempenho à não existência de deformação do substrato que possam provocar seu rompimento (ISAIAS *et al.*, 2010).

São os concretos que se tornam impermeáveis pela inclusão de um aditivo, e os revestimentos com argamassas, tratados da mesma forma (CUNHA & NEUMANN, 1979).

São materiais que quando aplicados nas edificações não aceitam nenhum tipo de movimentação estrutural. Normalmente são materiais misturados à massa ou aplicados em forma de pintura que depois de seco são rígidos (MOREIRA, 2014).

Segundo a NBR 9575:2010, os materiais empregados para execução de impermeabilização rígida são subdivididos da seguinte forma:

- a. Argamassa impermeabilizante com aditivo hidrófugo;
- b. Argamassa modificada com polímero;
- c. Argamassa polimérica;
- d. Cimento modificado com polímero;
- e. Membrana epoxilica.

#### 3.4.2.2. Impermeabilização Flexível

São sistemas de impermeabilização que possuem flexibilidade e capacidade de deformação suficiente para absorver as movimentações das estruturas (ISAIAS et al., 2010).

São materiais elásticos e aplicados em forma de película que depois de seco ou curados, acompanham a movimentação da estrutura (MOREIRA, 2014).

Segundo a NBR 9575:2010, os materiais empregados para execução de impermeabilização flexível são subdivididos da seguinte forma:

- a. Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero;
- b. Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico;
- c. Membrana de emulsão asfáltica;
- d. Membrana de asfalto elastomérico em solução;
- e. Membrana elastomérica de policloropreno e polietileno clorossulfonado;
- f. Membrana elastomérica de poliisobutileno isopreno (IIR) em solução;
- g. Membrana elastomérica de estireno-butadieno-estireno (SBS);
- h. Membrana de poliuretano;
- i. Membrana de poliuréia;
- j. Membrana de poliuretano modificado com asfalto;
- k. Membrana de polímero modificado com cimento;
- l. Membrana acrílica;
- m. Manta asfáltica;
- n. Manta de acetato de etilvinila (EVA);
- o. Manta de policloreto de vinila (PVC);
- p. Manta de polietileno de alta densidade (PEAD);
- q. Manta elastomérica de poliisobutileno isopreno (IIR).

#### 3.4.2.3. Impermeabilização Semi-flexíveis

São sistemas que possuem baixo módulo de elasticidade, mas que suportam as deformações do substrato, dentro de determinados limites (ISAIAS et al., 2010).

São materiais que depois de aplicados, aceitam pequenas movimentações térmicas, sem se romper (MOREIRA, 2014).

### **3.4.3. Projeto de Impermeabilização**

De acordo NBR 9575:2010, o projeto de impermeabilização é um conjunto de informações gráficas que definem integralmente as características de todos os sistemas de impermeabilização empregados em uma dada construção, de forma a orientar inequivocamente a produção deles. É constituído de dois projetos que se completam: projeto básico e projeto executivo.

Ainda segundo a NBR 9575:2010, os projetos de impermeabilização são compostos por:

- a. Plantas de localização e identificação das impermeabilizações, bem como dos locais de detalhamento construtivo que descrevem graficamente as soluções adotadas no projeto de arquitetura para o enquadramento das interferências existentes entre todos os elementos e componentes construtivos, explicando as soluções adotadas no projeto para o atendimento das exigências de desempenho em relação à estanqueidade dos elementos construtivos e à durabilidade frente à ação da água, da umidade e do vapor de água;
- b. Detalhes genéricos e específicos que descrevam graficamente todas as soluções de impermeabilização;
- c. Memorial descritivo de materiais, dos tipos de impermeabilizações selecionados para os diversos locais que necessitem de impermeabilização e camadas de impermeabilização;
- d. Memorial descritivo de procedimentos de execução;
- e. Planilha de quantitativos de materiais e serviços;
- f. Metodologia para controle e inspeção dos serviços.

Segundo Picchi (1986), a impermeabilização deve ser objeto de projeto específico, desenvolvido de forma integrada com o projeto do edifício, prevendo-se as interações com os demais elementos da edificação. Esta prática, entretanto, não é seguida, via de regra. Muitas vezes o executor da impermeabilização é chamado quando o edifício já está levantado, não existindo os necessários caimentos e rebaixos e não tendo sido estudada a interação com as instalações. Em alguns casos sequer foi prevista no cálculo da laje a sobrecarga, geralmente significativa, proveniente dos enchimentos e proteções necessários.

Picchi (1986) relata ainda que o projeto de impermeabilização deverá ser desenvolvido conjuntamente com o projeto geral e deve ser constituído de:

- a. Memorial descritivo e justificativo;
- b. Desenhos e detalhes específicos;
- c. Especificações dos materiais a serem empregados e dos serviços a serem executados;
- d. Planilha de quantidade de serviços a serem realizados;
- e. Estimativa de custo dos serviços a serem realizados;
- f. Indicação da forma de medição dos serviços a serem realizados.

Segundo Bauer *et al* (2010), projeto de impermeabilização é um conjunto formal e sistemático de ações que objetivam elaborar, analisar, planificar, detalhar e discriminar os sistemas de impermeabilização a serem adotados em uma dada aplicação. Estima-se que mais de 60% das falhas encontradas nos sistemas de estancamento, sejam provenientes de erros de projeto.

Segundo Isaias *et al* (2010), a impermeabilização necessita ser estudada e compatibilizada com todos os componentes de uma construção de forma a não sofrer nem ocasionar interferência.

#### **3.4.4. Escolha do Sistema de Impermeabilização**

Segundo Picchi (1986), é enorme a variedade de materiais e sistemas de impermeabilização disponíveis no mercado brasileiro. Esta grande quantidade de materiais e sistemas, aliada às condições de utilização bastante diversas, implicam diferentes solicitações na impermeabilização. Além das condições climáticas (temperaturas máximas e mínimas, umidade do ar, insolação, pluviosidade, velocidade do vento etc)

Picchi (1986) comenta ainda que o projetista deve especificar um ou mais sistemas, aceitáveis, referenciando-se em normas técnicas que definem a qualidade dos materiais e os requisitos básicos de execução. Ainda que especificando um sistema, diversos fabricantes e aplicadores podem participar da concorrência. Além disso, o projetista deve ter grande conhecimento das limitações do sistema, na prática o sistema de impermeabilização acaba recaindo entre a especificação do fabricante refere-se a um produto determinado utilizando as denominações comerciais e recomendações da aplicação do fabricante.

#### **3.4.5. Fiscalização**

Segundo Isaías *et al* (2010), um controle rigoroso na execução da impermeabilização é fundamental para garantir o seu bom desempenho e consequentemente sua qualidade. A fiscalização deve ser realizada pela empresa aplicadora, pelo engenheiro responsável pela obra, pelo projetista e ou entidade fiscalizadora designada. Deve-se observar sempre os detalhes do projeto de impermeabilização e estudar os possíveis problemas no decorrer da obra, verificando se a preparação da estrutura está sendo bem executada, se o material aplicado está dentro das especificações quanto a qualidade, características técnicas, espessura, consumo, tempo de secagem, sobreposição, arremate, teste de estanqueidade, método de aplicação e proteção.

### 3.4.6. Materiais para Impermeabilização

A escolha do sistema impermeabilizante mais adequado a uma dada aplicação depende das características intrínsecas do mesmo e também das condições de utilização e ambientais, às quais a edificação estará sujeita ao longo do seu tempo de vida útil. Parâmetros como resistência física, mecânica e química e solicitações de uso, devem ser cuidadosamente levantados, para um efetivo dimensionamento do sistema impermeabilizante, propiciando o cumprimento de sua função ao longo de todo o período para o qual foi designado. O responsável técnico pela escolha do sistema de proteção deve ter em mente que cada tipo de material apresenta um desempenho próximo do ótimo para um conjunto de condições específicas, e que conhecer a quais condições ambientais e de uso estará submetido, torna sua escolha acertada (BAUER *et al.*, 2010).

Ainda segundo Bauer *et al* (2010), o material base do sistema impermeabilizante, seus limites de resistência, utilização, forma de aplicação, tempo de vida útil, tipo de substrato, quantidade de mão de obra, necessidade de sistemas auxiliares, custos de aplicação, custos de aquisição e custos de sistemas de substituição são alguns de tantos pontos que devem ser conhecidos pelos profissionais que determinarão o melhor sistema para uma dada obra.

#### 3.4.6.1. Argamassa Impermeabilizante com Aditivo Hidrófugo

Segundo a NBR 9575:2010, tipo de impermeabilização não industrializada aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de areia, cimento aditivo hidrófugo e água, formando um revestimento com propriedade impermeabilizante.

De acordo com o Manual Técnico de Impermeabilização (VEDACIT), é um tipo de impermeabilização não industrializada aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, uma argamassa constituída de cimento, areia, aditivo impermeabilizante e água, o aditivo impermeabilizante reage com a cal livre do cimento formando sais cálcicos insolúveis, age repelindo a água através da

redução do ângulo de molhagem dos poros, a argamassa preparada *in loco* aplicado em camada de forma contínua.

São argamassas compostas com aditivos hidrófogos que ao reagirem com hidróxido de sódio do cimento, formam cristais que se depositam nas estruturas (vazios) de poros e capilares da superfície do concreto, inviabilizando desta forma, a entrada de água. São usados comumente em reservatórios de água, piscinas, floreiras e outros locais sujeitos à entrada de água (BAUER *et al.*, 2010).

#### 3.4.6.2. Argamassa Modificada com Polímero

Segundo a NBR 9575:2010, tipo de impermeabilização não industrializada aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros adequados, formando um revestimento com propriedade impermeabilizante.

#### 3.4.6.3. Argamassa Polimérica Semi-flexível

Também conhecido como cimento polimérico, composto de cimento, aditivos químicos e emulsões poliméricas, possuem boa impermeabilidade, aderência e resistência mecânica, possuem o mesmo princípio de funcionamento dos cimentos cristalizantes, por pressão osmótica, as cadeias poliméricas e os minerais são depositados na porosidade da estrutura, conferindo-lhe impermeabilidade. Por isso, há a necessidade do substrato estar úmido. O produto funciona tanto pela ação de cristalização da porosidade da estrutura, quanto pela formação de uma membrana também com elevada impermeabilidade, recomendada para impermeabilização de reservatórios, subsolos cortinas, poços de elevadores, pisos frios, sujeitos à umidade do solo, pressão positiva e negativa, ISAIAS *et al.*, (2010).

Ainda segundo o mesmo autor, as argamassas poliméricas semi-flexíveis possuem as seguintes características:

- Excelente aderência ao substrato;
- Pouca flexibilidade e baixo módulo de deformação comparado ao substrato;
- Permite a incorporação de armadura de tela de nylon ou poliéster para aplicação em reforços de áreas críticas;
- Não altera a potabilidade da água.

#### 3.4.6.4. Argamassa Polimérica Flexível

São argamassas poliméricas que possuem alta flexibilidade, a emulsão acrílica tem um maior teor polimérico, e as partículas são maiores, fazendo que quando o polímero se deposite, forme um filme, de modo que a membrana final seca se torne flexível. Devido a essa formação do filme, o produto não deve ser usado em locais com pressão negativa como reservatórios enterrados sujeitos a lençol freático, pelo risco de embolhamento, (ISAIAS *et al.*, 2010).

#### 3.4.6.5. Cimento Modificado com Polímero

Os cimentos cristalizantes, são aplicados na forma de pintura diretamente sobre o concreto, argamassa ou alvenaria previamente saturado com água, através de uma penetração osmótica pela porosidade do substrato, obtém-se uma reação química de seus componentes com a água de saturação, formando inicialmente um gel que depois se transforma em cristais insolúveis que comatam a porosidade substrato, (ISAIAS *et al.*, 2010).

#### 3.4.6.6. Material Asfáltico de Petróleo

Para Bauer *et al* (2010), asfalto é um material composto orgânico aglutinador, formado por moléculas de hidrocarbonetos alifáticos, coloração negro-pardacenta e portadores de alguns componentes traços como enxofre e ácidos orgânicos. Em condições ambientais normais, apresenta viscosidade, ou

seja, resistência ao escoamento elevada, aparentando ser um sólido. Por ser um material termoplástico, sua viscosidade diminui com o aumento de temperatura, favorecendo sua aplicação.

O asfalto puro, ou como é mais conhecido, cimento asfáltico de petróleo, é muito pouco utilizado, em função das limitações de suas propriedades, sendo largamente utilizado associado a outros materiais, constituindo compostos mais estáveis e apresentam propriedades mais nobres, possibilitando sua aplicação em um conjunto maior de casos. Esses compostos são normalmente divididos em dois grupos: asfaltos modificados com polímeros e asfaltos modificados sem polímeros (BAUER *et al.*, 2010).

#### 3.4.6.7. Membrana Asfáltica

Toda membrana formada a partir de uma emulsão asfáltica ou asfalto líquido e estruturada ou não com telas de diferentes tipos de materiais, onde essas massas asfálticas podem levar algum tipo de modificadores poliméricos. (BAUER *et al.*, 2010).

#### 3.4.6.8. Asfaltos Oxidados

Segundo Bauer *et al* (2010), este grupo de membranas se constitui numa massa de asfalto em alta temperatura, na qual é insuflada uma corrente de ar, o que provoca uma oxidação do material betuminoso. Isso altera suas propriedades iniciais, aumentando sua temperatura de amolecimento. O asfalto deixa de apresentar um regime elástico e passa ao regime plástico, o que melhora seu desempenho em ambientes mais quentes.

Segundo Bauer *et al* (2010), a grande utilidade deste tipo de aplicação é na formação de camadas intermediárias, servindo de elemento de ligação entre uma camada impermeabilizante e seu substrato.

#### 3.4.6.9. Emulsão Asfáltica

Quando da dispersão de um asfalto em água, mediante o uso de um emulsificante, tem-se uma emulsão. Apresenta cor marrom-pardacenta antes da aplicação e após coloração negra. Apresenta como desvantagem a formação de uma membrana dura e quebradiça em baixas temperaturas e alta viscosidade em altas temperaturas. Após o período de vida útil, apresenta os fenômenos de fadiga de material. As emulsões asfálticas são empregadas largamente em vigas baldrame, muros de arrimo, floreiras, estradas e outros (BAUER ET AL, p. 1519, 2010).

#### 3.4.6.10. Membrana Elastoméria de Policloropreno e Polietileno Clorossulfonado

São membranas desenvolvidas há mais de 60 anos, Neoprene-Hypalon é um sistema apropriado para impermeabilização de lajes expostas tipo abobadas, cúpulas foi muito utilizado nas décadas de 50-60 do século passado, durante a construção de Brasília. Atualmente é pouco utilizado devido ao alto custo da matéria-prima, em alguns países, também são produzidos em forma de mantas pré-fabricadas.

-Membrana de Neoprene: são elastômeros denominados policloroprenos e são utilizados em camadas intercaladas ou não com reforço de tela de nylon ou poliéster.

-Membrana de Hypalon: nome comercial dos elastômeros polietilenos clorossulfonados, possuem ótima resistência aos raios ultravioletas e à ozona e empregado como acabamento, (ISAIAS *et al.* 2010).

#### 3.4.6.11. Manta Asfáltica

Segundo a NBR 9575:2010, manta asfáltica “é um produto impermeável, sólido, flexível, pré-fabricado, obtido por calandragem, extensão ou outro processo”. Os materiais estruturantes mais utilizados para a elaboração das mantas podem ser PVC, EPDM, polietileno de alta densidade, butil com uma camada externa de cimento asfáltico. Os acabamentos superficiais das mantas variam em função da utilização pretendida.

As mantas podem ser classificadas em dois grupos, segundo o processo produtivo: por laminação e por imersão (BAUER *et al.*, 2010).

Bauer *et al* (2010), afirma que as mantas asfálticas apresentam os seguintes componentes: cimento asfáltico, elemento estruturante e um acabamento superficial. Das diferentes proporções desses elementos surgem diferentes tipos de mantas finais. O cimento asfáltico confere à manta suas propriedades de flexibilidade, resistência à fluência a altas temperaturas, aderência e outras. As propriedades de resistência à tração são conferidas pelos elementos estruturantes como telas, fibras, tecidos, os quais permitem a utilização das mantas em ambientes com alto grau de solicitação. Os acabamentos superficiais podem ser conferidos mediante a aplicação de materiais minerais como areias, grânulos, pedriscos ou materiais poliméricos ou ainda metais; sua função é adequar as diferentes formas de manta a diferentes ambientes de aplicação.

#### 3.4.6.12. Manta de Policloreto de Vinila (PVC)

É um polímero termoplástico naturalmente rígido, flexibilizado com plastificante que o torna elástico, material com grande durabilidade, as emendas são soldadas com ar quente, empregados no revestimento de canais, tanques, lagoas e piscina (ISAIAS *et al.*, 2010).

#### 3.4.6.13. Manta de polietileno de alta densidade (PEAD)

É um polímero termoplástico naturalmente flexível, sem necessidade de adição de plastificante, é empregado em obras onde se exigem resistência à agressividade química e alta impermeabilidade, como aterros sanitários, aterros industriais, pátios de base de tanques de derivados de petróleo, indústria petroquímica, canis de irrigação, lagos, as emendas são soldadas com ar quente ou extrusoras do próprio polímero, não existem adesivos conhecidos para colagem das emendas (ISAIAS *et al.*, 2010).

#### 3.4.6.14. Membrana de Poliuréia

São produtos bicomponentes de reação muito rápida de 3 a 10 segundos, por isso necessitam de equipamentos e não de obra especiais para sua aplicação, esses equipamentos são chamados de hot-spray por aplicar o produto através numa temperatura superior a 70° C. O resultado final é uma membrana de secagem praticamente instantânea, muito flexível, elástica, com elevada resistência química, aderência, resistência mecânica, entre outras características, devido ao elevado custo, são fabricados com polímeros híbridos de poliuréia e poliuretano com o objetivo de tornar a tecnologia mais acessível (ISAIAS *et al.*, 2010).

A poliuréia é um material isento de solventes e inertes a intempéries e a micro-organismos, estima-se que sua vida útil supere os 30 anos, sua aplicação é realizada com spray de forma contínua e permite a adequação do revestimento a geometrias mais complexas, como juntas, encontros e quinas, tanto em superfícies horizontais como verticais. A superfície deve estar limpa, íntegra, coesiva e com rugosidade compatível com a aderência necessária ao revestimento, sendo recomendado um hidrojateamento e se necessário um lixamento. As juntas devem ser tratadas e preenchidas com material elastomérico. O primer como ponte de aderência tem a função de penetrar na superfície do concreto de forma a ancorar-se fisicamente e quimicamente. A

aplicação da poliuréia deve ser realizada dentro da janela de recobrimento empregando unidade dosadora airless tipo hot spray, que comprime, aquece e mistura os dois componentes no bico da pistola, a espessura da camada entre 1,5mm e 2,5mm depende da função que se destina a área aplicada. Durante a aplicação é necessário o seguinte controle:

- Umidade relativa do ar;
- Umidade da superfície;
- Temperatura ambiente;
- Temperatura da superfície;
- Ponto de orvalho;
- Tempo máximo de recobrimento do primer

Os quais interferem intimamente pela qualidade do revestimento, sendo suas principais características:

- Cura ao toque em poucos segundos e cura total em algumas horas, permitindo o uso da área quase que instantaneamente;
- Possibilidade de aplicação por spray em qualquer espessura em apenas uma demão;
- Alta elasticidade, usualmente de até 500%, com alta resistência à tração e ao rasgo;
- Alta resistência às intempéries e aos raios ultravioleta (UV);
- Alta resistência química;
- Alta estabilidade em ampla faixa de temperatura entre -40° C e + 110° C. Nogueira (2012).

#### 3.4.6.15. Membrana de Poliuretano

São polímeros líquidos de polibutadieno que, quando reagem com isocianatos, formam os polímeros termofixos poliuretanos, tem boa resistência a produtos químicos e alta elasticidade e elevada durabilidade quando aplicados associado a agregados miúdos tem uma excelente resistência a abrasão (ISAIAS *et al.*, 2010).

Segundo o portal metálica é um sistema de impermeabilização de alta tecnologia para ser utilizada nas mais diversas aplicações de impermeabilizações, um sistema monolítico, sem juntas ou emendas a base de resinas elastoméricas de poliuretano, de elevada durabilidade, alta elasticidade e grande capacidade de aderência a diversos substratos.

As membranas de poliuretano são constituídas de dois ou mais tipos de resinas, com características distintas para conceber o desempenho mais compatível com a necessidade. O sistema também é composto de areia com granulometria classificada, tendo a finalidade de resistência mecânica e esforços de abrasão. Sobre o concreto perfeitamente regularizado e preparado é aplicado um primer à base de poliuretano para melhorar a aderência do revestimento, posteriormente é aplicado a primeira camada (base Coat) constituído de um poliuretano aromático, que tem a função de impermeabilização e necessita ser elástico para absorver possíveis fissuras estáticas ou dinâmicas de concreto ou da camada de regularização, aplicado com rolo ou desempenadeira seguida de rolo para eliminação de bolhas. A segunda camada tem a função de suportar os esforços de abrasão e cargas provenientes do tráfego de veículos, esta camada tem a dureza maior e é composto de uma resina de poliuretano com aspersão de agregados de quartzo ou areia com granulometria compatível, perfeitamente arredondado (malha 30), após a aspersão é passado o rolo sobre o sistema ainda fresco garantindo que todo agregado fique coberto pela resina para suportar os esforços e promover uma textura antiderrapante, podendo ser aplicado em uma ou duas camadas, dependendo do tráfego, a terceira camada composta de resina com coloração estável, resistente aos raios ultravioletas e à abrasão, com função de acabamento final. De forma geral, a superfície deve estar limpa, seca, isenta de contaminantes, regularizada com caimento adequado para ralos e sistemas de drenagem e que a umidade do concreto não seja superior a 4% medição feitas com equipamento apropriado. As trincas, juntas, ralos e sistemas de drenagem devem ser tratados apropriadamente, sendo necessário empregando argamassas de reparo e selante de poliuretano de dureza Shore entre 25 a 40 Granato (2013).

Principais características:

- Impermeável à água de percolação e ao vapor;
- Compatível com o substrato de concreto proporcionando grande aderência;
- Resistente ao tráfego de pedestre, veículos e ao desgaste pelo uso, dependendo da configuração;
- Custo compatível com a somatória dos custos de uma impermeabilização convencional com o piso de acabamento;
- Rapidez na aplicação;
- Resistente a produtos químicos típicos para lavagem de piso;
- Alta coesão adesiva e resistente à abrasão
- Facilidade de aplicação e de manutenção;
- Forma uma membrana monolítica e com facilidade de arremates complexos;
- Resistente aos raios ultravioletas e ao intemperismo;
- Elasticidade e resistente a fissuras ou trincas estáticas e dinâmicas do concreto, até uma abertura aproximada de 1,5 mm;
- Baixo odor e baixo VOC;
- Facilidade de limpeza;
- Longa expectativa de vida útil;
- Segurança e funcionalidade, relativa às características do acabamento: liso, antiderrapante, antideslizante, cantos vivos, incombustíveis, etc;
- Textura de acabamento e cores variáveis, dependendo da necessidade, com adequado acabamento estético.

#### 3.4.6.16. Estruturante

São os elementos responsáveis pela resistência à tração dos sistemas de impermeabilização, os mais utilizados são:

-Não Tecido de Poliéster: formado por filamentos contínuos de poliéster distribuídos em forma aleatória, sem configurar uma trama, sendo comercializado em várias gramaturas de modo que quanto maior a gramatura, maior será a resistência à tração do produto final.

-Filme de Polietileno: são estruturantes de baixo custo, com baixa resistência à tração, mas que confere à manta final elevada flexibilidade e alongamento.

-Véu de Fibra de Vidro: obtido através da aglomeração de resinas especiais de fibras de vidro, não possui elevada resistência à tração e tampouco tem boa flexibilidade e alongamento, sendo mais empregado em mantas de custo inferior e destinado a áreas sujeitas a menores de formações, (ISAIAS *et al.*, 2010).

## **4. ESTUDO DE CASO**

### **4.1. HISTÓRICO**

#### **4.1.1. Usina Hidrelétrica de Foz do Areia**

A Usina Governador Bento Munhoz da Rocha Netto possui capacidade de 1.676 MW de potência instalada. Está localizada no rio Iguaçu, distante 5 km da jusante da foz do rio Areia e 240 km de Curitiba, no município de Pinhão. Teve suas obras iniciadas em 1975, onde a barragem foi concluída em 1979 e a usina em 1980, quando começou a operar.

A barragem é de enrocamento compactado com face de concreto. Foi a primeira a ser construída no Brasil e a maior do mundo no gênero na época, com 160 m de altura e 828 m de comprimento.

#### **4.1.2. Aplicação do Sistema de Impermeabilização**

A proposta da impermeabilização foi concebida tomando por base as reclamações dos usuários da usina. Anteriormente a aplicação, existiam diversos relatos de infiltrações nos pavimentos inferiores, ocasionando prejuízos pela deterioração de materiais e mal estar devido a estética prejudicada das paredes e teto.

##### **4.1.2.1. Período da Aplicação**

A aplicação da impermeabilização iniciou-se em meados de fevereiro de 2013, estendendo-se até final de junho de 2013.

Durante esse período, houve alguns dias de chuvas, falta de mão de obra, falta de material ou feriados prolongados que impossibilitou a continuidade dos trabalhos.

Entretanto, na maior parte do tempo, houve um bom desenvolvimento das atividades propostas, com equipe atuante em diversas frentes de serviço, visando atender ao cronograma proposto pelo cliente.

##### **4.1.2.2. Dados de Precipitações**

Segundo informações fornecidas pelo fabricante, para a aplicação do produto impermeabilizante proposto é necessário que a superfície do concreto e o seu interior estejam completamente secos. Para viabilizar a execução do serviço, o concreto não deve ser exposto a qualquer tipo de umidade por no mínimo dois dias.

Sendo assim, um dado que torna-se fundamental para a análise são as precipitações ocorridas no período de execução dos trabalhos. Com base nos dados fornecidos pelo SIMEPAR, nos meses de fevereiro, março, maio e junho de 2013 ocorreram chuvas mais intensas em relação ao ano anterior (2012):

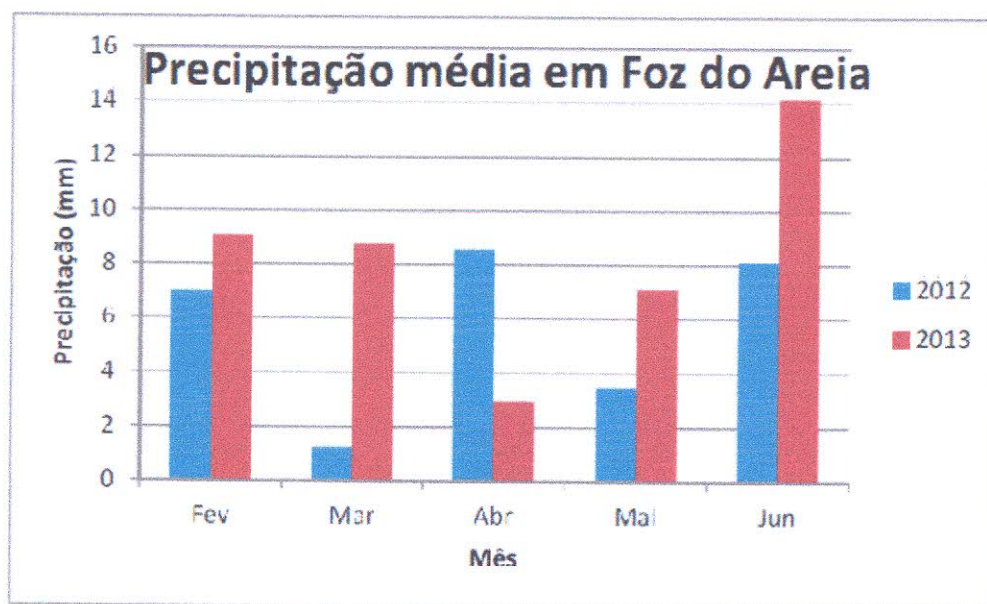


**Gráfico 01.** Comparativo de precipitação em Foz do Areia nos períodos de fevereiro a junho de 2012 e 2013 (SIMEPAR, 2013)

Considerando o período de aplicação com níveis de precipitação considerável, caberia ao executor do sistema de impermeabilização o cuidado da aplicação dos materiais sobre superfície ideal, seguindo indicações do fabricante e atendendo as exigências contratuais.

Não foi encontrado nenhum relato no diário de obras referente à execução da impermeabilização com humidade incorreta ou com a superfície do concreto molhada. Entretanto, sabe-se que a obra não foi acompanhada a todo instante por um fiscal do contratante, podendo haver algumas informações faltantes no diário.

#### 4.2. REALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO

Para o levantamento de dados e realização da inspeção completa em campo, realizaram-se duas visitas a usina. A primeira foi realizada no intuito de conhecimento do local, levantamento de informações prévias e registro Figuragráfico para auxílio no desenvolvimento do *check list*. A segunda, de posse das informações prévias e da lista para auxílio a inspeção, foi levantado todas as manifestações patológicas encontradas na laje de acesso a usina.

Também foi levantado junto a equipe de operação da usina dados de projeto, detalhes sobre o período de execução do sistema de impermeabilização e informações dos diários de obra.

O *check list* desenvolvido para auxílio da inspeção foi aplicado durante a segunda visita a usina. Essa ferramenta apontou resultados relevantes para integração de informações, possibilitando a análise cruzada de dados.

#### 4.3. ANÁLISES E DISCUSSÕES

##### 4.3.1. Projeto de Impermeabilização

O desenvolvimento de um projeto de impermeabilização é fundamental para definir detalhes da execução. Com ele, consegue-se prever pontos de reforço, caimentos, espessura de camada, tipo de material e outros detalhes. Além disso, a norma NBR 9575:2010 orienta ainda que o projeto seja desenvolvido por profissional capacitado.

A falta do projeto é um erro grave, pois a execução fica desamparada de instruções técnicas. Os serviços são executados segundo o conhecimento dos aplicadores, ficando comprometidos diversos fatores que influenciam na qualidade final.

Segundo consta no diário de obras, a solução adotada foi definida através de conhecimento técnico dos executores, sem o desenvolvimento de um projeto específico.

#### 4.4. Procedimento Executado

De acordo com o material consultado, segue na sequência o procedimento adotado pela empresa responsável, para aplicação do sistema de impermeabilização.

#### **4.4.1. Preparação da Superfície**

A superfície deve estar limpa, isenta de óleos, graxas, poeira e qualquer material contaminante, sendo recomendado um limpeza por hidrojateamento. A figura 05 ilustra a lavagem.



**Figura 05.** Lavagem da Superfície

De acordo com o material fornecido, foi executado de lavagem com equipamento de hidrojateamento. Não foi aplicado nenhuma camada regularizadora para eliminação de imperfeições na superfície.



**Figura 06.** Vista da Lavagem Superficial

Na figura 06 tem-se uma vista panorâmica de parte da laje da usina, no momento que era aplicado a lavagem por hidrojateamento.

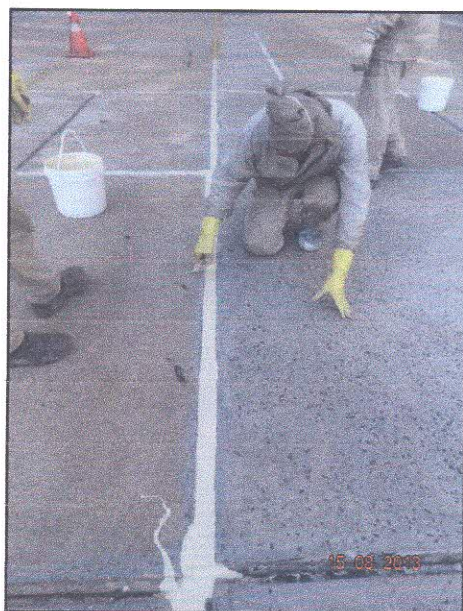


**Figura 07.** Execução das Juntas de Movimentação

Foi promovida a manutenção das juntas de dilatação conforme figura 07, com a retirada do material existente, limpeza e aplicado novo elastômero.

Não foram aplicados procedimentos específicos nas juntas de movimentação para proteger o sistema de impermeabilização adotado.

A NBR 9575:2010 instrui a correção de arestas e cantos vivos, executando arredondamentos para evitar agressão ao material impermeabilizante após a cura. A norma ainda orienta quanto à regularização de superfície, eliminando pontas agudas, fissuras ou trincas, deslocamentos e outras irregularidades superficiais que possibilitam a perfuração da manta.

Não existe nenhum relato que comprove a correção das arestas ou regularização superficial antes da aplicação do produto.

#### **4.4.2. Controle da Umidade**

A superfície deve estar limpa e seca, e de acordo Granato (2013) a umidade do piso de concreto não deve ser superior a 4% para o sistema de impermeabilização adotado. Na figura 08 tem-se um medidor de umidade, equipamento que deveria ser utilizado antes das aplicações.



**Figura 08.** Medidor de Umidade

Não existe nenhum relato informando que a umidade foi controlada durante todo o processo de aplicação do sistema de impermeabilização.

#### **4.4.3. Imprimação do Substrato**

É recomendada a imprimação do substrato com primer, este cuidado garante a aderência do sistema além de selar a umidade dentro do concreto (umidade inferior a 4%), impedindo que o vapor de água crie bolhas e falhas na membrana, conforme figura 09.

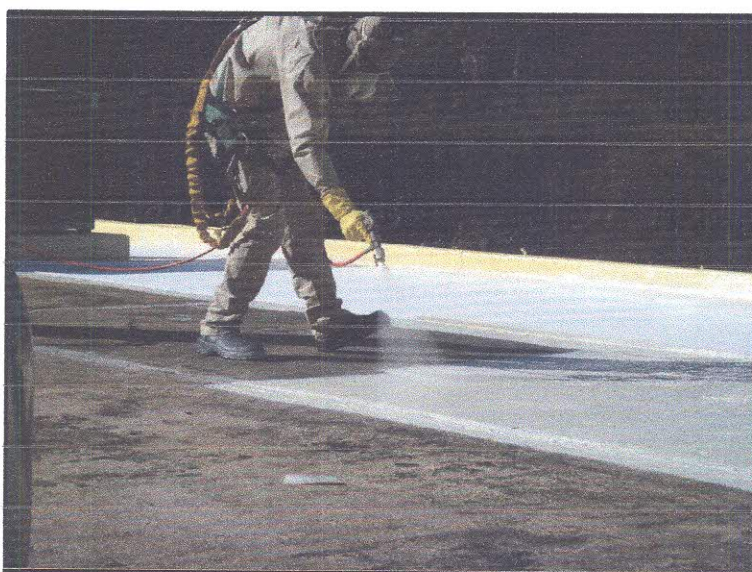


**Figura 09.** Aplicação de Primer com Pistola

Para a imprimação do substrato foi empregado o produto adesivo a base de poliuretano bicomponente.

Foi aplicado de duas formas, com o uso de pistola, puerizando sobre o substrato e com a espátula, vertendo o produto e esparramando sobre a superfície, conforme figura 10.



**Figura 10.** Aplicação de Primer com Espátula

Pela falta de projeto, não existiu uma orientação para o controle de espessura da camada aplicada, ficando a encargo do aplicador a homogeneidade. Entretanto, devido à superfície possuir desníveis e em alguns pontos apresentar irregularidades, é inevitável que exista diferença de espessura do primer.

Sendo assim, existe um comprometimento do sistema de impermeabilização em locais com possíveis camadas inferiores as recomendadas pelo fabricante.

#### **4.4.4. Aplicação de Manta Estruturante**

A manta estruturante deve ser aplicada entre o material de aderência à superfície (primer) e a primeira camada da manta a base de poliuretano. Serve para absorver os esforços, conferindo resistência mecânica ao sistema de impermeabilização. Na figura 11 pode-se observar a instalação da manta.



**Figura 11.** Instalação da Manta Estruturante

Após a colocação, teve-se o cuidado de realizar um acabamento, visando colar perfeitamente a manta no primer, conforme ilustra a figura 12.



**Figura 12.** Acabamento com aplicação à Rolo

Sobre o estruturante foi passado rolo por toda a superfície para eliminar as bolhas de ar e forçar a penetração do primer para dentro do geotêxtil.

#### 4.4.5. Aplicação de Material Impermeabilizante

Empregado poliuretano elastomérico, um sistema híbrido 100% de sólidos, sem solventes, bi-componentes, aplicado na forma de spray em alta pressão. A membrana resultante possui uma resistência elevada, agindo como camada final de acabamento, dispensando qualquer tipo de proteção mecânica, conforme figura 13.



**Figura 13.** Aplicação da Impermeabilização

#### 4.5. ANÁLISE GERAL DA APLICAÇÃO

Com a aplicação do material proposto, houve uma redução significativa nas infiltrações em pavimentos inferiores, entretanto o problema ainda não está solucionado. Os defeitos presentes, de origens variadas, ainda afetam as estruturas. O acesso da água à estrutura acarreta em manutenções contínuas de pintura, troca de lâmpadas e luminárias, limpeza e cuidados extras devido as consequências da água infiltrada.

A impermeabilização a base de poliuretano é uma solução interessante pois atendeu a diversas exigências impostas pelo cliente final, visando a

estanqueidade da estrutura. Entretanto, não foi desenvolvido um estudo específico visando atender a todos os detalhes presentes na área de aplicação.

A laje que se desejou impermeabilizar é composta de diversas particularidades que prejudicam o sistema, comprometendo assim a eficiência de qualquer solução adotada sem estudo prévio. Possui incorporado a ela canaletas e ralos que destinam-se ao escoamento de água, caixas de passagem de cabeamento elétrico, base de equipamentos mecânicos, tráfego de veículos de carga, entre outros.

Além desses, o maior problema identificado é a presença de trilhos metálicos para circulação do pórtico de transporte de cargas. Pórtico esse que é capaz de transportar 800 toneladas, ao se movimentar gera uma vibração grande e deslocamentos na estrutura da ordem de milímetros.

A proposta não engloba as particularidades impostas, levando em conta apenas a idéia da impermeabilização em locais de livre acesso e sem impedimentos.

Na região dos trilhos do pórtico de cargas, fica evidente a falha, pois a manta que se fundiu junto ao concreto, não adere ao trilho metálico. Criou-se então uma falha, onde percorre toda a extensão da laje, possibilitando diversos pontos diferentes de infiltrações. A figura 14 ilustra essa situação.

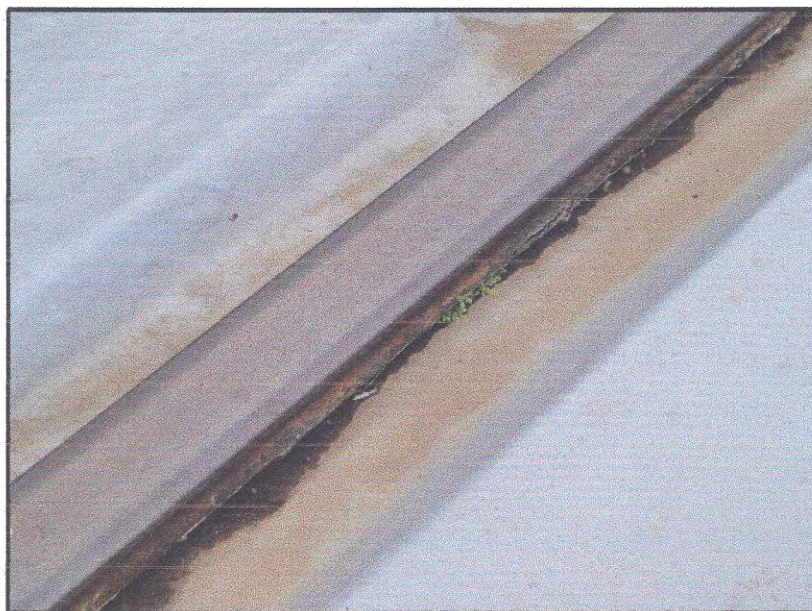


**Figura 14.** Interface da manta com trilho metálico

A falta do projeto de impermeabilização é um erro de planejamento da obra. Nesse documento, deveria estar previsto todas as informações relevantes quanto à aplicação e utilização do material proposto, levando em conta todas as particularidades presentes no local de aplicação.

Com a ausência de projeto, houve algumas soluções que já apresentam problema, mesmo com aproximadamente um ano de aplicação. Apesar do curto espaço de tempo, já foi suficiente para gerar algumas manifestações patológicas no sistema, comprometendo assim toda a impermeabilização.

Todo o processo foi realizado sem a elaboração de um projeto específico de impermeabilização, a solução não foi elaborada por um profissional especializado da área, a proposta foi apresentada pela empresa responsável que realizou a impermeabilização, um vício relatado por PICCHI em seu livro Impermeabilização de Cobertura publicada em 1986.

Na ausência de um projeto específico para ser seguido, a fiscalização ficou comprometida ou nula, tornando-se apenas uma aferição da etapa em execução. Com isso, não houve controle da umidade através de medições diárias da laje para poder liberar os trabalhos, não houve o controle do rendimento do produto aplicado, do consumo de material por  $m^2$  e nem o controle dos arremates.

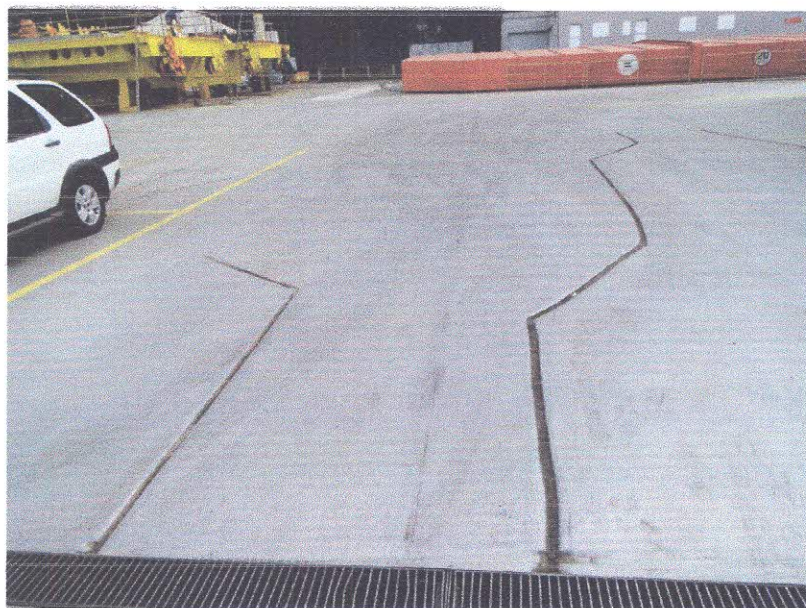


**Figura 15.** Canais para captação de água

Devido à falta de regularização foram mantidas na superfície do piso alguns canais para captação de água e assim evitar o seu empoçamento, conforme visto na figura 15.

#### 4.6. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Com a utilização do *check list* durante as inspeções, ficou evidenciado a quantidade de manifestações patológicas encontradas ao longo de toda a área inspecionada. Manifestações essas de diferentes causas/origens, em pontos de diferentes solicitações e de diferentes usos.

Classificando os problemas encontrados, pode-se descrevê-los em três classes gerais: bolhas, fissuras e deslocamento de material.

##### 4.6.1. Bolhas

As bolhas geradas no sistema de impermeabilização foram identificadas em dia ensolarado, temperaturas próximas de 30°C, com incidência solar direta sobre a área.

Com a abertura de janela de inspeção para identificação da causa, constatou-se que as bolhas são formadas basicamente por ar e água. Não foi encontrada nenhuma evidencia de algum material estranho aos utilizados na impermeabilização.

Também foi possível identificar que a ruptura do sistema de impermeabilização ocorre, na maioria das vezes, na interface da primeira camada (primer) e a superfície do concreto.

Com o auxílio da manta, as camadas mais superficiais oferecem ao sistema uma resistência tal suficiente para evitar o rompimento do material aplicado.



**Figura 16.** Bolhas na impermeabilização

As bolhas geradas, ilustradas na figura 16, não influenciam nas infiltrações existentes, pois a superfície da impermeabilização ainda não está danificada. Entretanto, favorece a geração de novas manifestações às quais serão descritas a seguir.

O conteúdo encontrado no interior das bolhas sugere a origem do problema. Uma vez que a laje foi limpa antes da aplicação dos materiais da impermeabilização através de hidrojateamento, deve-se aguardar um período para secagem completa da mesma. Além disso, caberia ao aplicador à análise da laje como um todo, não apenas a superficialmente.

A água e o ar no interior das bolhas indicam a provável falta de secagem completa da laje antes da aplicação. Ocorre uma tentativa da água presente na laje evaporar durante os dias com maior incidência solar, gerando uma pressão entre o concreto e a manta de impermeabilização.

#### 4.6.2. Fissuras

Fissura é o problema mais frequente no sistema. Ocorre na maioria dos trechos analisados, gerando pontos prováveis de infiltração de água para os pavimentos inferiores.

Dentre elas, pode-se separar por origem em dois grupos: fissuras de retração e fissuras por rompimento de bolhas.

As primeiras, de menor incidência, são consideradas fissuras superficiais. Tem por característica uma profundidade de aproximadamente 1,5mm, não sendo suficiente para percolação de água sobre ela. Entretanto, torna-se um ponto frágil, podendo assim evoluir para uma região com potencial de infiltração.



**Figura 17.** Fissuras superficiais de retração

Conforme a figura 17, as fissuras de retrações são consequência de que não foi feito o controle da temperatura e da umidade do ar, a baixa umidade e a alta temperatura afetam a cura do impermeabilizante resultando em tensões

superficiais fissurando a camada superficial de forma aleatória sem um sentido predominante.

Com um controle efetivo de umidade/temperatura os serviços seriam interrompidos, durante o período mais crítico e retomado à medida que as condições ambientais assim permitir.



**Figura 18.** Fissuras após formação de bolha

Conforme figura 18, as fissuras por rompimento das bolhas são pontos onde o sistema de impermeabilização já está comprometido e consequentemente a laje está desprotegida.

Considerada a manifestação patológica mais grave presente no sistema de impermeabilização, sugere-se a intervenção imediata visando à integridade do concreto e a eliminação de pontos de entrada de água. A figura 19 detalha.



**Figura 19.** Detalhe de fissuras após formação de bolha

#### **4.6.3. Desplacamento de Material**

O deslocamento de material foi considerado, em sua maioria, uma consequência das manifestações patológicas anteriores. Ou seja, o problema inicia-se com uma bolha, evolui para criação de fissuras e agrava-se com o deslocamento. A evolução das manifestações ocorre devido aos esforços que o sistema de impermeabilização está submetido. A área é utilizada para transporte e armazenamento temporário de cargas e tráfego de veículos. Na figura 20 fica evidenciado o deslocamento após a formação de bolha.



**Figura 20.** Desplacamento após formação de bolha

Em dois pontos apenas a causa do deslocamento foi identificada pela irregularidade da laje e aplicação sobre materiais diferentes. Nos trechos 4 e 20, a laje possui caixa de passagem de cabeamento elétrico, com tampas em madeira para aberturas superficiais. Entretanto, durante a aplicação da impermeabilização, não houve a preocupação em manter o acesso as caixas, onde as mesmas foram totalmente tapadas. Na figura 21 pode-se observar uma caixa de passagem coberta pela impermeabilização.

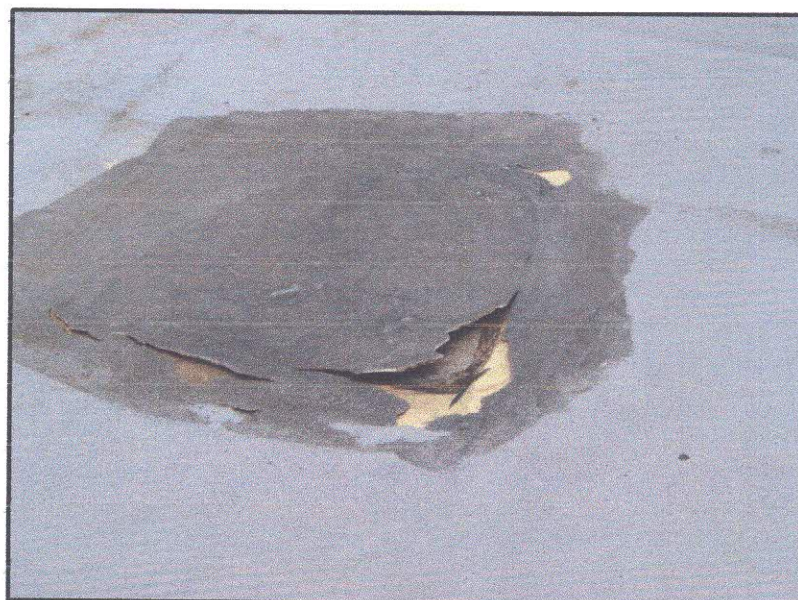


**Figura 21.** Desplacamento sobre caixa de passagem

#### **4.6.4. Irregularidade na Superfície de Aplicação**

A falta de regularização da superfície causou danos durante a aplicação do sistema de impermeabilização. Isso porque a manta aplicada é inicialmente líquida, enrijecendo à medida que o material cure. Sendo assim, a aplicação segue os desníveis presentes na superfície, ocasionando pontos de fácil choque mecânico, facilitando o rompimento da manta, conforme figura 22.



**Figura 22.** Irregularidade na superfície de aplicação

#### **4.6.5. Deslocamento da Tinta Superficial**

Em alguns pontos isolados identificou-se a ocorrência de deslocamento da pintura superior. A causa provável é a presença de sujeira ou outro material qualquer entre a manta de poliuretano e a camada de pintura final. A figura 23 ilustra essa situação.

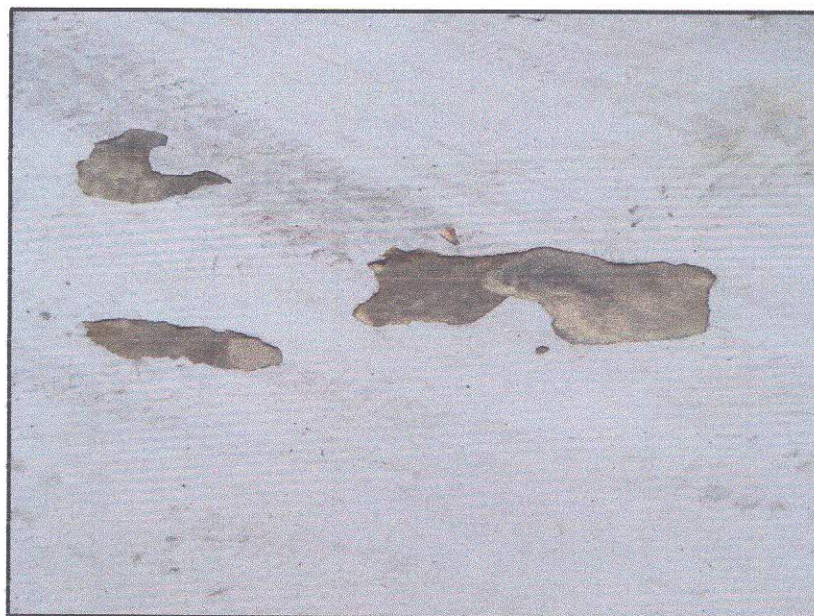


**Figura 23.** Desplacamento da tinta superficial

#### **4.6.6. Fissura em Junta de Movimentação**

A estrutura é concebida com juntas de movimentação transversalmente ao sentido da laje. Essas juntas eram tratadas anteriormente com material deformável, apresentando um resultado ineficaz. Para a aplicação do sistema atual de impermeabilização, houve a retirada do material instalado anteriormente e limpeza parcial das juntas, conforme figura 24.

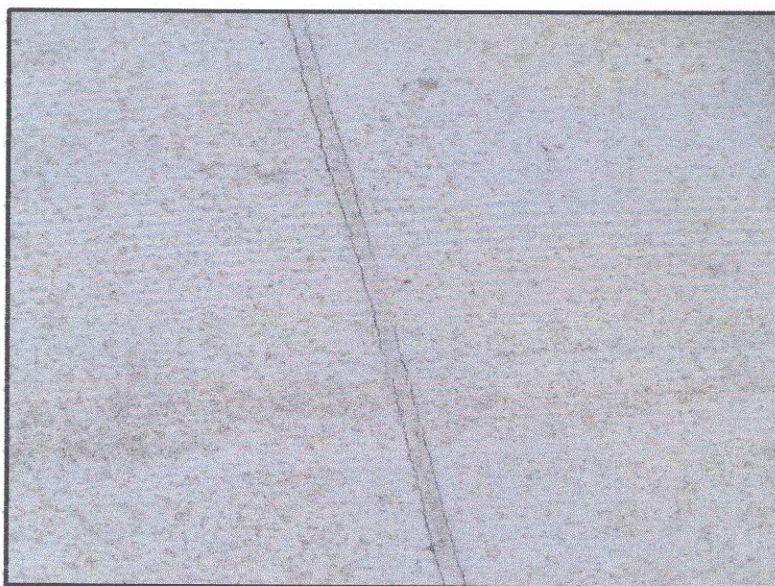


**Figura 24.** Fissuras na junta de movimentação estrutural

A impermeabilização atual apresenta uma região, sobre a junta de movimentação, onde a manta não suportou a movimentação da estrutura e fissurou. A falta de reforço na região da junta de movimentação é a provável causa dessa manifestação, conforme figura 25.



**Figura 25.** Fissuras nas juntas de movimentação

As fissuras nas juntas de movimentação são consequência de que não foram tomadas nenhum procedimento específico de reforço da impermeabilização sobre as juntas de movimentação para absorver as tensões resultante da movimentação térmica.

#### **4.6.7. Fissura na Interface das Canaletas Metálicas**

As canaletas de captação de águas são formadas por um perfil metálico, afixadas junto a laje mediante a concretagem de 2 estágio. Durante o desenvolvimento do projeto do atual sistema de impermeabilização, considerou-

se a aplicação da manta sobre a canaleta, sem alteração da situação inicial. A figura 26 demonstra essas fissuras.

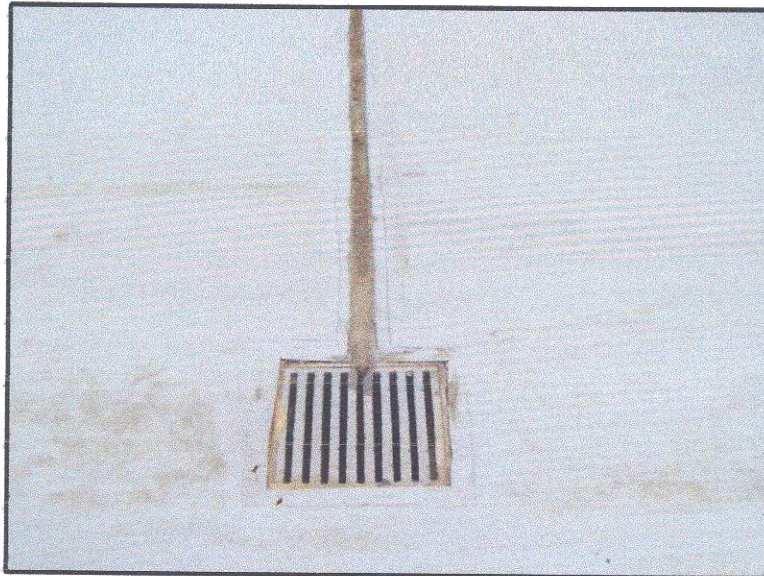


**Figura 26.** Fissuras próximo ao perfil da canaleta de drenagem e ralo

Com isso, ocorre uma diferenciação de material entre metal e concreto, gerando esforços diferentes na manta de impermeabilização. Essa movimentação ocasionou uma fissura na impermeabilização, na região da interface das canaletas metálicas com o concreto da laje. O detalhamento está ilustrado na figura 27.



**Figura 27.** Detalhe da canaleta de drenagem

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A impermeabilização a base de poliuretano é um sistema moderno, durável e muito eficiente, quando projetado de forma correta, dimensionado de acordo com o tráfego a que vai ser exposto, executado de forma a atender todas as especificações e fiscalizado de forma séria e rigorosa.

Com a realização de inspeção na laje de acesso a Usina Hidrelétrica Foz do Areia, identificou-se inúmeras manifestações patológicas na impermeabilização da laje. Com aproximadamente 1 (um) ano de aplicação, o sistema formado por uma camada colante de primer, manta estruturante e material impermeabilizante a base de poliuretano não está sendo eficaz devido a falta de estanqueidade.

A solução adotada mostrou-se eficaz quando aplicada em superfície adequada, seca, atingindo as espessuras indicadas pelo fabricante do material. Outro ponto positivo detectado é a plasticidade do material, possibilitando movimentações da estrutura na ordem de milímetros. A camada estruturante formada pela manta geotêxtil oferece rigidez tal suficiente para não permitir o rompimento da manta de poliuretano. Nos trechos onde existe tráfego, o sistema mostrou-se eficaz com relação à abrasão dos pneus sobre a manta, não apresentando pontos de desgaste superficial.

Entretanto, a incidência de manifestações patológicas é muito grande para um sistema instalado recentemente. As análises indicam a despreocupação com a execução, sendo em alguns pontos aplicado com a superfície úmida, ou em casos piores, com a superfície irregular e o concreto danificado. Nesses casos, a degradação foi muito rápida, apresentando falhas na impermeabilização e comprometendo o sistema como um todo.

O baixo desempenho do caso estudado é consequência da falta de um projeto, o que impossibilitou a “existência” de uma fiscalização efetiva, a falha da concepção do sistema adotado, resultou no surgimento de tantas manifestações patológicas, em tão pouco tempo de vida.

A maior incidência identificada no sistema de impermeabilização são as fissuras com deslocamento de material. Esse dado foi identificado através da tratativa aplicada ao *check-list* utilizado durante a inspeção.

Os danos presentes no sistema são passíveis de reparos, entretanto necessita de estudo para desenvolvimento de solução adequada. O desenvolvimento do projeto de impermeabilização é fundamental para os reparos a serem feitos. Deve-se considerar a presença de caixas de passagem, ralos, canaletas e trilhos metálicos que estão presentes na laje a ser impermeabilizada.

Considera-se a solução adotada para impermeabilização da usina como aceitável, entretanto a falta de planejamento e a inexistência de projeto de impermeabilização acarretaram falhas graves na execução dos serviços. É necessária a correção imediata para evitar o progresso dos danos já relatados.

## **6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8083 – Materiais e Sistemas Utilizados em Impermeabilização.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575 – Impermeabilização – Seleção e Projeto.** Rio de Janeiro, 2010.

BAUER, E.; VASCONCELOS, P.H.C.O; GRANATO, J.E. **Sistemas de Impermeabilização e Isolamento Térmico.** São Paulo: G.C. Isaia, 2010.

BAUER, L.A. **Materiais de Construção Civil.** São Paulo: Editora LTC, 2011.

CICHINELLI, G. **A Evolução das Membranas Moldas In Loco.** São Paulo: Técnica, 2004.

CUNHA, A. G.; NEUMANN, W. **Manual de Impermeabilização e Isolamento Térmico.** Rio de Janeiro: Texas Brasileira Ltda, 1979.

MARCELLI, M. **Sinistros na Construção Civil,** São Paulo: PINI, 2010.

MOREIRA, K.A.W. **Sistemas de Impermeabilização de Estruturas de Edificações – Notas de aula.** Curitiba: Instituto IDD, 2013.

NOGUEIRA, H. **Aplicação de Revestimento Impermeabilizante à Base de Poliureia.** São Paulo: Técnica, 2004.

PICCHI, F.A. **Impermeabilização de Coberturas.** São Paulo: PINI, 1986.

RIPPER, E. **Manual Prático de Materiais de Construção.** São Paulo: PINI, 1995.

RIPPER, E. **Como Evitar Erros na Construção**. São Paulo: PINI, 1984.

TOLMASQUIM, M.T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

VEDACIT- **Manual Técnico de Impermeabilização de Estrutura**. 7º Edição.  
Disponível em: <http://www.vedacit.com.br>. Acesso em 06/09/2014 às 20:45.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. São Paulo: Pini, 1999.

## 7. APENDICE

### CHECK LIST - Inspeção de Impermeabilização em Laje da UHE GBM

| Qual o trecho que será inspecionado? |                                                                    | ( ) 1     | ( ) 2        | ( ) 3             | ( ) 4 | ( ) 5 | ( ) 6 | ( ) 7 |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>CARACTERÍSTICAS</b>               | A superfície da laje é plana?                                      | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | A laje possui sistema de captação de água?                         | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Existe empoçamento de água sobre a laje?                           | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | A calha de escoamento de água é suficiente?                        | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | O trecho está sujeito a tráfego intenso de veículos e cargas?      | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
| <b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS</b>     | Apresenta pontos prováveis infiltração de água?                    | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Apresenta pontos com falha na impermeabilização?                   | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Falha na camada superficial? (abrasão/intemperes)                  | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Falha na camada intermediária? (manta de PU)                       | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Falha na primeira camada do sistema de impermeabilização? (primer) | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Falha na superfície do concreto? (aderência)                       | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Falha no interior do concreto? (falha de correção de superfície)   | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Apresenta pontos que indicam infiltração na face inferior?         | ( ) Sim   | ( ) Não      | ( ) Não se Aplica |       |       |       |       |
|                                      | Qual o tipo de patologia apresentada?                              | ( ) Bolha | ( ) Fissuras | ( ) Desplacamento |       |       |       |       |