



**ANÁLISE DAS ETAPAS DE RECUPERAÇÃO E
IMPERMEABILIZAÇÃO DO TEATRO L'OCCITANE EM TRANCOSO**

SÃO PAULO
2018



ALINE CARVALHO COSTA
JONAS DA SILVA JUNIOR
ROBERTO CARLOS COSTA

**ANÁLISE DAS ETAPAS DE RECUPERAÇÃO E
IMPERMEABILIZAÇÃO DO TEATRO L'OCCITANE EM TRANCOSO**

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

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca

SÃO PAULO

2018

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil e professor orientador Luís César S. De Luca pela valiosa colaboração na orientação e construção deste trabalho.

Aos coordenadores André Figueiró e Ricardo Faria por todo o acompanhamento as sextas-feiras e sábados, sempre nos direcionando e ensinando para que pudéssemos obter o maior aproveitamento em todas as matérias.

A todos os professores que contribuíram com seus conhecimentos ao longo desse curso.

As grandes empresas de materiais de impermeabilização por todo o conhecimento passado através de treinamentos para aplicação de metodologias de impermeabilização de alto desempenho.

E por fim, aos familiares e cônjuges sempre tão compreensivos com nossa ausência aos finais de semana e em momentos de estudos.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar as etapas do processo de recuperação e impermeabilização da estrutura do teatro L'occitane que tiveram como referência as especificações de um projeto de recuperação. Este trabalho busca contribuir no aperfeiçoamento dos procedimentos construtivos e de reparo das estruturas de concreto armado. Para isto foi realizado uma pesquisa bibliográfica sobre recuperação das estruturas de concreto juntamente com o estudo de caso da obra de recuperação do teatro L'OCCITANE em Trancoso-BA. Através deste trabalho foi possível constatar a importância de se avaliar a concepção estrutural e escolha dos acabamentos não apenas a nível de estabilidade mas também de se buscar soluções que atendam a questões funcionais e de manutenção visto que os problemas que geraram os trabalhos de recuperação tiveram origem na escolha do tipo de acabamento do revestimento da fachada e nos encontros entre as estruturas de concreto armado e estruturas metálicas, pois geraram problemas como fissuração nos encontros das estruturas que danificaram a impermeabilização, além do acúmulo de umidade de sujidade na fachada que se tornaram insustentáveis ao tipo de uso e público do espaço. Por fim o estudo de caso conseguiu comprovar a importância e eficácia de um projeto de recuperação e impermeabilização que através do tratamento das causas raízes, escolha adequada dos materiais e especificação da metodologia executiva adequada conseguiu solucionar os problemas existentes.

Palavras chave: Recuperação, impermeabilização, projeto e especificação.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVO GERAL	13
1.2. JUSTIFICATIVAS	13
1.2.1. Tecnológica	13
1.2.2. Econômica	14
1.2.3. Social	14
1.3. PROCESSO METODOLÓGICO APLICADO	14
1.4. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS	16
2.2. FATORES DE DEGRADAÇÃO DO CONCRETO	19
2.2.1. Causas mecânicas e Físicas	19
2.2.2. Causas químicas	23
2.2.3. Causas biológicas	27
2.2.4. Causa Eletroquímica	29
2.5 IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	36
2.5.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS	40
2.5.4.1 Classificação quanto á flexibilidade dos sistemas	40
2.5.4.2 Classificação quanto á aderência dos sistemas	42
2.5.4.3 Classificação quanto á característica dos sistemas	44
2.5.4.4 Principais materiais características e aplicações de materiais moldados in loco e pré-fabricados	45
2.5.4.5 Utilização de EPIS e ferramentas adequadas para execução dos trabalhos com segurança:	46
2.6 ETAPAS DA IMPERMEABILIZAÇÃO	47
2.6.1 Tratamento de substrato	47
2.6.2 Aplicação do sistema de Impermeabilização	48
2.6.3 Teste de estanqueidade	48
2.6.4 Sistemas complementares	48

2.7 PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURA	49
3. ESTUDO DE CASO – TEATRO L'OCCITANE EM TRANCOSO.	
50	
3.1 CONCEPÇÃO CONSTRUTIVA	51
3.2 ANALISE CONSTRUTIVA	52
3.2.1 Escolha dos materiais	53
3.3 ANALISE DA FORMA.....	56
3.4 PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO.....	58
3.4.1 Impermeabilização das fachadas em concreto	58
3.4.2 Impermeabilização do piso.....	60
3.4.3 Injeção de epóxi em trinca	69
3.4.4 Execução de juntas de dilatação.....	70
3.4.5 Injeção de poliuretano em arquibancadas	72
3.5 PLANO DE MANUTENÇÃO:.....	75
3.5.1 Manutenção das fachadas.....	75
3.5.2 Manutenção da impermeabilização de piso	76
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÃO PARA	
FUTUROS TRABALHOS.....	77
4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
4.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Topo de chaminé de uma indústria deteriorado pela variação brusca de temperatura (AGUIAR, 2006).....	20
Figura 2 - Fissura no concreto devido à falta de cura.	21
Figura 3 - Canal de escoamento de carepas de aço com o concreto desgastado.....	22
Figura 4 - Camada de cobrimento do console de apoio da laje totalmente destacado devido à passagem de material siderúrgico em alta temperatura.	23
Figura 5 - Tanque com pontos de infiltração e pontos de eflorescência devido à lixiviação.....	24
Figura 6 - Parede de concreto deteriorado pelo ácido clorídrico usado no processo industrial	25
Figura 7 - Pilar sobre o mar após 10 anos de construção, deteriorado devido aos efeitos da interação da carbonatação com íons cloretos (AGUIAR, 2006).....	26
Figura 8 -Armação da viga com corrosão generalizada por carbonatação	27
Figura 9 -Crescimento de raízes de plantas em fendas do concreto que deterioram a estrutura (AGUIAR, 2006).....	28
Figura 10 - Processo da produção de ácido sulfúrico em esgotos.....	29
Figura 11: Divisão de sistemas em rígidos e flexíveis	40
Figura 12: Características e exemplos de materiais rígidos e flexíveis ..	42
Figura 13: Ilustração de sistema não aderido	43
Figura 14: Ilustração de sistema aderido com imprimação.....	44
Figura 15: Localização do teatro – Fonte: Google Earth.	50
Figura 16: Vista lateral do teatro – Fonte: site do festival de musica em Trancoso.	52
Figura 17: Vista das formas de madeira na fachada interna e plateia A – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	53

Figura 18: Vista da plateia A com impermeabilização de manta asfáltica – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	54
Figura 19: Vista da plateia A com posicionamento de telas de amarração – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	55
Figura 20: Vista do encontro de vigas metálicas com estruturas em concreto armado – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	55
Figura 21: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com manchas enegrecidas – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	56
Figura 22: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com manchas enegrecidas – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	57
Figura 23: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com etapa de hidrojateamento iniciada – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	59
Figura 23: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com etapa de aplicação de hidrofugante elástico – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	60
Figura 24: Vista da fachada principal (Facilities) com etapa de aplicação de hidrofugante elástico – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	60
Figura 25: Vista do palco A na etapa de remoção de impermeabilização existente – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	61
Figura 26: Vista do palco A na etapa de remoção e recomposição pontual de substrato – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	62
Figura 27: Vista do palco A na etapa de tratamento de trincas com grampeamento – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	63
Figura 28: Vista da área de circulação com aplicação de barreira temporária ao vapor – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	64
Figura 29: Verificação de umidade do substrato e ponto de orvalho para aplicação – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	64
Figura 30: Vista da área de circulação com aplicação de primer de aderência ao sistema – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	65
Figura 31: Vista da área do palco A com aplicação de camada impermeabilizante – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	66

Figura 32: Vista da área do palco A com aplicação de camada impermeabilizante final – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	67
Figura 33: Ilustração de tipos de rugosidade de substrato e apontamento da rugosidade ideal – Fonte: Projeto de impermeabilização – Teatro L Occitane.	68
Figura 34: Vista da viga em concreto com injeção de epóxi – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	70
Figura 35: Junta de dilatação com barra de transferência – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	71
Figura 36: Ilustração de método executivo de injeção de poliuretano em arquibancada A – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	73
Figura 37: Vista da arquibancada com injeção de poliuretano em bicos – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.	74
Figura 38: Vista da arquibancada com posicionamento de bicos injetores – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.....	74

INTRODUÇÃO

Desde o início do emprego do concreto armado, criado na França em 1849 por Monier, as edificações, obras de arte, rodovias, cais e demais construções civis em concreto armado ou protendido têm resistido as mais variadas sobrecargas e ações do meio ambiente. Embora o concreto possa ser considerado um material praticamente eterno – desde que receba manutenção sistemática e programada – há construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. (HELENE, 1992).

Os custos econômicos e sociais para manutenção das estruturas em concreto armado tem se tornado cada vez maiores; em 2004 a Alemanha gastou aproximadamente 90 bilhões de euros com manutenção e reparo das estruturas de concreto armado, o que correspondeu a 50% do total gasto na construção civil deste país. Diante da gama de produtos e sistemas para prevenção e reparo, os engenheiros responsáveis por prescrevê-los para as obras de recuperação, reforço e proteção, precisam conhecer adequadamente o seu comportamento e sua real eficácia. (GARCIA 2008).

Segundo AGUIAR (2006), tem ocorrido um aumento no número de obras precocemente degradadas, sendo em sua maioria obras construídas nos últimos 25 anos.

Ainda segundo AGUIAR (2006), dentre as principais causas na baixa durabilidade das estruturas, pode-se destacar:

- a falta de conhecimento, por parte dos projetistas e construtores em relação aos processos de degradação, sua origem, mecanismos e evolução;
- rápido avanço tecnológico no âmbito dos materiais utilizados nas construções;
- a falta de conhecimento por parte daqueles que são os responsáveis pela manutenção e conservação das estruturas.

Ainda a respeito das causas da deterioração precoce das estruturas, podemos acrescentar sobre o problema da falta de conhecimento por parte dos profissionais, a deficiência destes a respeito dos cuidados necessários com a impermeabilização das estruturas. Segundo PICCHI (1986), esta deficiência começa nas escolas, nas quais muito pouco, ou em algumas vezes nada é informado a respeito da tecnologia de impermeabilização. Pode-se dizer que a impermeabilização é dentro da construção um serviço especializado e que exige a necessidade do acompanhamento da rápida evolução dos materiais, sistemas além do acompanhamento das técnicas em constante renovação (PICCHI, 1986).

Portanto os estudos e desenvolvimentos na área da patologia das construções se tornam fundamentais para o desenvolvimento de novas práticas para que consiga contribuir na concepção de projetos mais eficazes e com isso se possa reduzir os custos de manutenções e reparos, pois segundo a lei de Sitter os custos de manutenção e reparos aumentam exponencialmente numa proporção de 5 vezes a fase de intervenção conforme o gráfico 1.

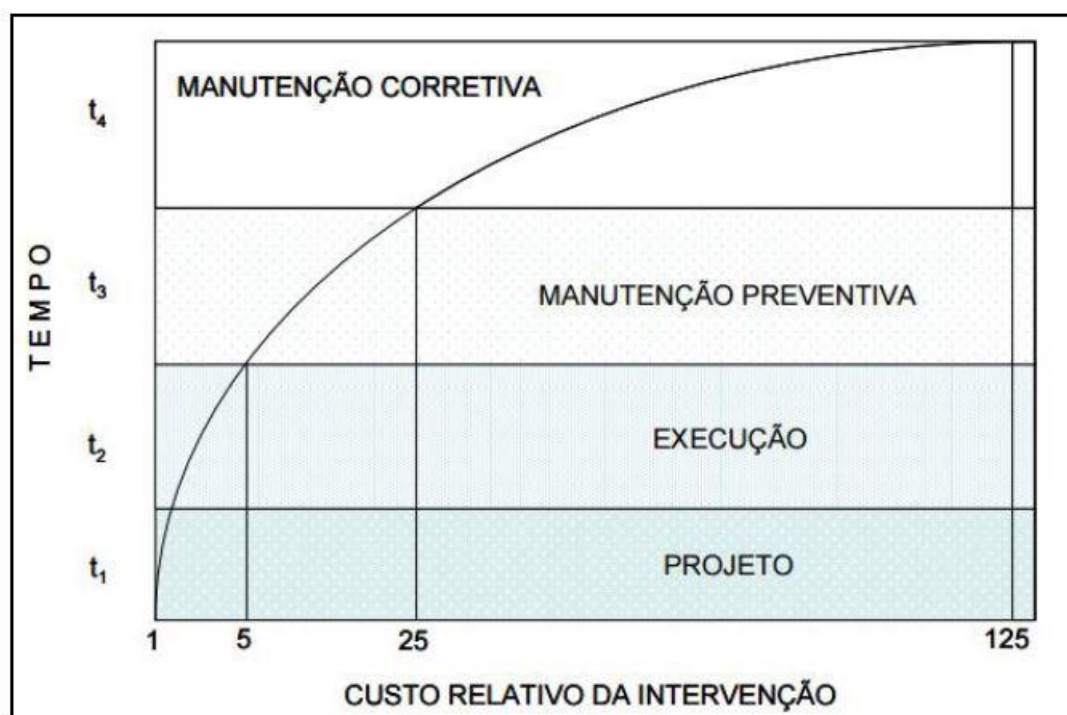


Gráfico1: Evolução dos custos de intervenção em função da fase de vida da estrutura (Comitê CT 301, 2003 apud Scadua Mariano, Martins 2018)

A fim de proporcionar uma contribuição neste desenvolvimento é que foi realizado este estudo de caso sobre o trabalho de recuperação e impermeabilização em um teatro em concreto aparente, levando em consideração o histórico da obra, as falhas executivas que proporcionaram a deterioração precoce da estrutura, as especificações do projeto de recuperação e os procedimentos executivos de reparo. Este processo foi acompanhado por aproximadamente dois anos pelos integrantes do grupo.

1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar as etapas do processo de recuperação e impermeabilização da estrutura do teatro L'occitane que tiveram como referência as especificações de um projeto de recuperação.

1.2. JUSTIFICATIVAS

1.2.1. Tecnológica

O mercado da construção nacional passa por momento de recessão o que exige uma maior eficiência das empresas para se manterem no mercado e alcançar melhores resultados. Isto exige que as construtoras busquem melhores práticas e técnicas construtivas além emprego do uso de novos produtos e soluções de engenharia.

Neste sentido é preciso conhecer estes produtos e soluções, assim como conhecer o seu desempenho e metodologia de aplicação para usar essas tecnologias como recurso de otimização na produção seja pelo ganho no custo do emprego de novas tecnologias, seja ganho de prazo ou até pelo ganho na redução de retrabalhos e custos de assistência técnica após a entrega do empreendimento, sendo este último o foco deste trabalho.

1.2.2. Econômica

Conforme apresentado na introdução deste trabalho, o emblemático gráfico de Sitter apresenta a escala dos custos para realização de determinada intervenção nas estruturas de acordo com o período em que a intervenção é realizada, deixando claro que os custos de manutenção corretiva são exorbitantemente mais onerosos. O desenvolvimento de conhecimento através de estudo de boas práticas nos processos de Recuperação de estruturas e na aplicação de produtos de impermeabilização de alto desempenho possibilita a redução de custos de manutenções causadas por falhas no sistema de impermeabilização das estruturas.

1.2.3. Social

Além das perdas econômicas, as manutenções precoces causadas pelas falhas de projeto e falhas executivas causam ainda perdas sociais em algumas vezes imensuráveis como acidentes que por vezes são noticiados nos meios de comunicação. No caso da estrutura em estudo houve perdas sociais e culturais com a interrupção dos eventos programados à sociedade para que fosse realizada a obra de Recuperação e impermeabilização. Desta forma torna-se de grande importância o estudo do tema.

1.3. PROCESSO METODOLÓGICO APLICADO

Primeiramente foi realizada pesquisa em livros, normas e manuais técnicos de empresas de porte significativo no ramo de materiais de impermeabilizações, além de estudo do projeto de recuperação e impermeabilização desenvolvido por consultoria especializada para a obra à ser

realizada. Na sequência foi realizado o acompanhamento regular da obra e registro dos trabalhos por parte de integrantes do grupo. Por último foi realizado uma análise e apresentação de considerações à partir dos registros realizados na obra.

1.4. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em quatro capítulos, nos quais se incluem esta introdução, as considerações finais e a bibliografia.

No segundo capítulo foi realizado um histórico, conceituando os princípios básicos da impermeabilização, a classificação de sistemas e materiais mais utilizados no processo.

No terceiro capítulo foi realizado um estudo de caso, com a finalidade de enriquecer o trabalho. A partir da compreensão de diversos itens no segundo capítulo, pôde-se analisar o histórico construtivo da obra e impermeabilização executada.

No quarto e último capítulo foram apresentadas as considerações finais deste trabalho lembrando a importância do projeto de impermeabilização e do plano de manutenção para garantir a durabilidade da obra em questão.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresentará as conceituações e as bases acadêmicas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho através do desenvolvimento sobre durabilidade, fatores que podem causar a degradação das estruturas, materiais e procedimentos utilizados em obras de recuperação e por último, conceitos sobre impermeabilização.

2.1. DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS

Para Sarja e Vesikari (1994), genericamente, o termo “durabilidade” pode ser definido como a capacidade de um edifício, componente, estrutura ou produto manter um desempenho mínimo em um determinado tempo, sob a influência de agentes agressivos.

Este tempo, é a vida útil da estrutura e que se divide em três fases:

- Vida útil de projeto: também chamado de período de iniciação. Nesta etapa os agentes agressivos, como cloretos, CO_2 , sulfatos, etc, ainda estão penetrando através da rede de poros da camada de cobrimento das armaduras, sem causar danos efetivos à estrutura. O valor adotado usualmente para estruturas convencionais de concreto é de 50 anos, ou mais para o caso de pontes e barragens (AGUIAR, 2006);

- Vida útil de serviço: nesta etapa, os efeitos dos agentes agressivos começam a se manifestar com o surgimento de fissuração e manchas. Esta vida útil é variável de caso a caso, pois em certas estruturas não se admite determinadas manifestações, como manchas em concreto aparente, enquanto que em outras somente serão consideradas aquelas manifestações que possam comprometer a funcionalidade ou a segurança (AGUIAR, 2006);

- Vida útil total: Corresponde à ruptura e ao colapso parcial ou total da estrutura (AGUIAR, 2006).

A durabilidade de uma estrutura é afetada por vários fatores como falhas de execução, falhas de projeto, materiais usados na obra e o meio ambiente em que esta estrutura está inserida.

Esta última, em especial, determina as ações e agentes que atuam nesta estrutura e o conhecimento destes fatores por parte dos projetistas é de fundamental importância para a concepção de uma estrutura durável.

A NBR 6118:2014 apresenta uma tabela com a classificação dos ambientes e os seus respectivos graus de agressividade e risco de deterioração das estruturas expostas à estes ambiente conforme o quadro 1.

Quadro 1 - Classificação da Agressividade do Ambiente

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	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: NBR 6118:2014

Em função da agressividade do ambiente o concreto deve apresentar propriedades mínimas para que se garanta a durabilidade da estrutura conforme o Tabela 1.

Tabela 1 - Qualidade mínima do concreto em função do ambiente

Concreto	Tipo	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
Relação	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
A/C	em CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
massa					
Classe de	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
Concreto	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

A relação a/c tem influencia na durabilidade das estruturas de concreto pois tem relação direta com a resistência e a permeabilidade do concreto. A permeabilidade se dá pela formação de espaços vazios que surgem na perda da água que não é necessária para a hidratação do cimento.

A Classe do concreto indica a resistência mínima em MPa que o concreto precisa ter para resistir as ações agressivas que pode sofrer em função do ambiente que a estrutura está inserida.

Outro fator importante e que influencia diretamente na durabilidade das estruturas é o cobrimento.

Cobrimento é a camada de concreto que cobre a armação e o protege da agressão do ambiente. Sua espessura é determinada pela norma conforme o Tabela 2.

Tabela 2 - Cobrimento mínimo da estrutura em função do ambiente

Tipo de Componente	Classe de Agressividade Ambiental				
Estrutura ou Elemento	I	II	III	IV	
Cobrimento em mm					
Concreto Laje	20	25	35	45	
Armado Viga/Pilar	25	30	40	50	
Concreto Protendido	Todos	30	35	45	55

Fonte: NBR 6118:2014

2.2. FATORES DE DEGRADAÇÃO DO CONCRETO

Segundo Aguiar (2007), os processos principais que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados, de acordo com a sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos.

2.2.1. Causas mecânicas e Físicas

2.2.1.1. Tensões térmicas

As tensões térmicas degradam o concreto devido à variação volumétrica que uma mudança brusca de temperatura provoca. Em uma estrutura de concreto a sua superfície se ajusta mais rapidamente à variação da temperatura do que o seu interior. Isto irá gerar tensões no concreto, e se estas tensões forem superiores a sua resistência de tração, então ocorrerá as fissuras e os destacamentos de concreto. A Figura 1 demonstra a deterioração do concreto devido as tensões térmicas.

Figura 1 - Topo de chaminé de uma indústria deteriorado pela variação brusca de temperatura (AGUIAR, 2006).



Fonte: AGUIAR, 2006

2.2.1.2. Retração

A Retração é a deformação do concreto devido à perda de água da pasta de cimento. A perda de água do concreto ainda não endurecido ocorre por causa da exposição de sua superfície às intempéries como vento, baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas, as quais levam à fissuração conforme a Figura 2.

A ocorrência deste fenômeno será tão mais intensa quanto maior for o consumo de cimento, a relação a/c e as proporções de finos no concreto.

Figura 2 - Fissura no concreto devido à falta de cura.



Fonte: SILVA JUNIOR, 2013

2.2.1.3. Desgaste

O atrito constante em uma estrutura, ou um impacto, gera um desgaste que deteriora o concreto. Estruturas como estradas, galerias, estruturas marítimas sofrem com a ação do desgaste.

Para resistir ao desgaste o concreto precisa de resistência a abrasão. A resistência a abrasão é diretamente proporcional a resistência do concreto. Este tipo de ação é comum nas áreas industriais em canais que fazem o escoamento de resíduos sólidos gerados na produção. A Figura 3 demonstra o concreto de um canal que sofreu o desgaste pela abrasão de materiais.

Figura 3 - Canal de escoamento de carepas de aço com o concreto desgastado.



Fonte: SILVA JUNIOR, 2013

2.2.1.4. Altas temperaturas

Em condições normais o concreto armado não sofre alteração em função da variação de temperatura, por que a diferença entre os coeficientes de dilatação é muito pequena.

No entanto, em altas temperaturas estes coeficientes têm comportamentos diferentes, e como o aço tem coeficiente ligeiramente maior, ele vai dilatar mais que o concreto e gerar tensão que vai destacar a camada de cobrimento do concreto.

Outro problema com as altas temperaturas é a perda de resistência do concreto, que se dá a partir dos 300°C, além da redução na tensão de escoamento que o aço sofre com as altas temperaturas, tendo uma redução no seu limite elástico e na sua tensão de ruptura, chegando ao seu colapso próximo dos 500 °C.

A Figura 4 apresenta a deterioração de um console que faz o apoio de uma laje em função das altas temperaturas no local.

Figura 4 - Camada de cobrimento do console de apoio da laje totalmente destacado devido à passagem de material siderúrgico em alta temperatura.



Fonte: SILVA JUNIOR, 2013

2.2.2. Causas químicas

2.2.2.1. Ataque de água pura

O hidróxido de cálcio é um constituinte do concreto que tem alta solubilidade à água pura. Com isso a água em contato com o concreto dissolve o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento e o lixivia, reduzindo a resistência do concreto. Além da perda de resistência, a lixiviação do hidróxido de cálcio pode ser indesejável por razões estéticas. Frequentemente, o produto da lixiviação interage com o CO_2 , presente no ar, e resulta na precipitação de crostas

brancas de carbonato de cálcio na superfície, fenômeno conhecido como eflorescência (Aguiar,2006). Esta precipitação é ilustrada na Figura 5

De forma indireta, a água vai agredir as estruturas mantendo alta a umidade no concreto, e essa umidade elevada vai agir como um catalizador para a carbonatação e a corrosão.

Figura 5 - Tanque com pontos de infiltração e pontos de eflorescência devido à lixiviação.



Fonte: SILVA JUNIOR, 2013

2.2.2.2. Ataque por ácidos

Os ácidos atacam o concreto, dissolvendo e removendo parte da pasta de cimento endurecido, conforme a Figura 6.

As superfícies de concreto sujeitas aos ataques de ácidos devem ser protegidas com pinturas de borracha, resinas epóxicas e outras barreiras. O nível de proteção é bastante variável, mas é essencial que a barreira anti-ácida seja bem aderente ao concreto e resistente às ações mecânicas (AGUIAR, 2006 apud

NEPOMUCENO,1982). A Figura 6 apresenta a deterioração de uma parede de concreto armado pelo contato com ácido.

Figura 6 - Parede de concreto deteriorado pelo ácido clorídrico usado no processo industrial



Fonte: SILVA JUNIOR, 2013

2.2.2.3. Cloretos

Os cloretos são altamente agressivos as estruturas de concreto armado e atacam as armaduras mesmo em condições de alta alcalinidade. Os cloretos rompem pontualmente a camada de passivação e geram uma corrosão localizada.

A concentração de cloretos necessária para promover a corrosão é fortemente afetada pelo pH do concreto. Através de ensaio foi demonstrado que é necessário um nível de 8.000 ppm de íons cloretos para iniciar o processo quando o pH é de 13,2, mas quando o pH cai para um patamar de 11,6, a corrosão se inicia com somente 71 ppm de íons cloretos (AGUIAR, 2006 apud EMMONS, 1993).

Em função desta relação da concentração de cloretos e o pH do concreto, a corrosão por cloretos combinada com a carbonatação é ainda mais severa conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Pilar sobre o mar após 10 anos de construção, deteriorado devido aos efeitos da interação da carbonatação com íons cloretos (AGUIAR, 2006)



Fonte: AGUIAR, 2006

2.2.2.4. Carbonatação

O concreto tem um pH entre 12,6 e 14,0, isso, principalmente devido ao hidróxido de cálcio (ANDRADE, 1992).

A carbonatação é o ataque do CO_2 que é um ácido, reagindo com o hidróxido de cálcio que é uma base, resultando no carbonato de cálcio que é um sal mais água. Com a perda do hidróxido de cálcio, o pH do concreto cai. Quando esta camada de Ph mais baixo atinge a armadura, ela despassiva a

armadurapois rompe a película de óxido de ferro que protegia o aço (camada passivadora) e gera uma corrosão generalizada em toda a seção do aço. Em concretode mediana qualidade observa-se que a velocidade da carbonatação variaentre 1 e 3 mm por ano (AGUIAR, 2006 apud SILVA, 1995).

O grau de carbonatação máximo ocorre a uma umidade relativa de 60%, enquanto que em um ambiente seco ou saturado a carbonatação é reduzida para 20% deste valor (AGUIAR, 2006). A Figura 8 apresenta uma corrosão generalizada gerada pela ação da carbonatação.

Figura 8 -Armação da viga com corrosão generalizada por carbonatação



Fonte: SILVA JUNIOR, 2013

2.2.3. Causas biológicas

A deterioração provocada pelo ataque biológico é através do crescimento de raízes de plantas, algas e líquens em fendas ou zonas porosas do concreto, originando forças expansivas de degradam mecanicamente o concreto, facilitando o transporte de outros agentes agressivos para seu interior. A Figura 9 apresenta uma estrutura que tem a sua durabilidade comprometida pelo crescimento de plantas.

Figura 9 -Crescimento de raízes de plantas em fendas do concreto que deterioram a estrutura (AGUIAR, 2006)

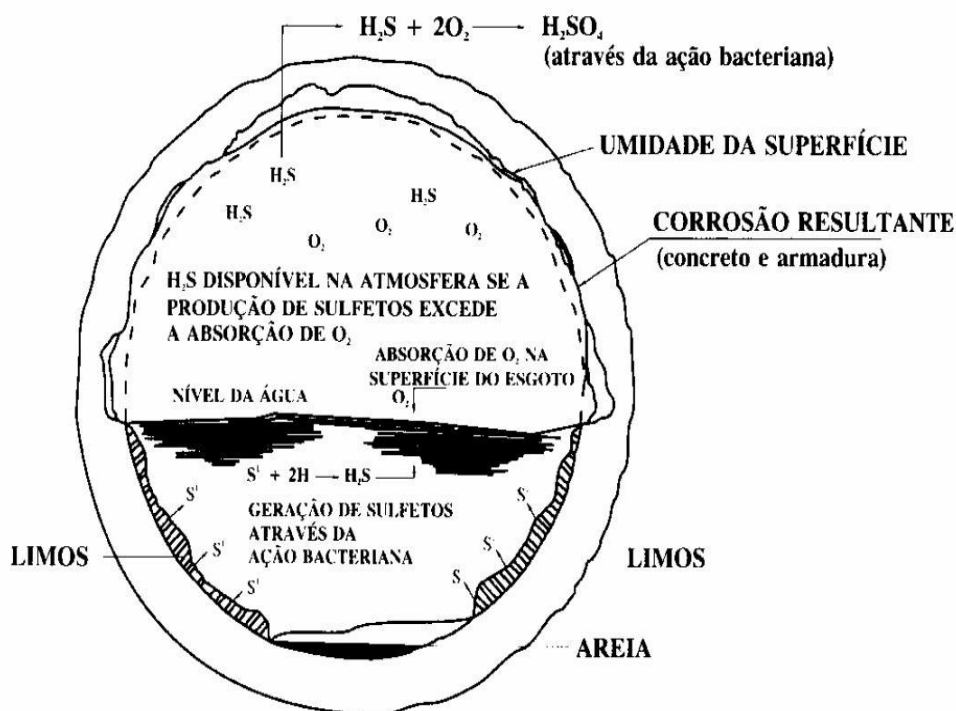


Fonte: AGUIAR, 2006

Na prática o mais significativo ataque biológico ao concreto é o que ocorre no interior dos esgotos, onde em condições anaeróbicas, as bactérias produzem ácido sulfídrico, que é pouco agressivo ao concreto.

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 por ano (AGUIAR, 2006). A Figura 10 mostra o esquema deste processo.

Figura 10 - Processo da produção de ácido sulfúrico em esgotos



Fonte: AGUIAR, 2006

2.2.4. Causa Eletroquímica

2.2.4.1. Corrosão

Os metais encontram-se, em geral, na natureza formando compostos tais como óxidos e sulfetos com outros elementos. Para usá-los em sua forma elementar é preciso extrair o metal mediante um processo de redução, o que requer aplicar-lhes certa quantidade de energia. O processo inverso pelo qual o metal volta ao seu estado natural vai acompanhado de uma redução da 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 destruição paulatina do metal (ANDRADE, 1992).

Segundo AGUIAR(2006), quando as condições de serviço se modificam, e o concreto se altera atravésda penetração de substâncias agressivas, ocorre o rompimento da camada de passivação, e inicia-se a corrosão das armaduras.

Durante o processo de corrosão são formados óxidos que se expandem em torno do aço exercendo pressão no concreto eliminando a aderência do concreto no aço e destacando a camada de cobrimento. A redução da aderência entre o aço e o concreto acarreta numa perda da capacidade estrutural da peça. Em um segundo estágio, o aço em corrosão diminui de seção ou converte-se totalmente em óxido.

Para que ocorra o processo corrosivo é necessária à presença simultânea de oxigênio e umidade. Em um concreto com uma umidade relativa abaixo de 60%, provavelmente não haverá corrosão. O mesmo acontece quando o concreto estiver saturado com água. A umidade ótima para ocorrer o processo encontra-se entre 70 a 80%, sendo que, acima deste nível, a difusão de oxigênio é reduzida consideravelmente (AGUIAR, 2006).

A temperatura também tem influência sobre a velocidade de corrosão. Segundo ANDRADE(1992) a temperatura tem um papel duplo no processo, por um lado o seu incremento promove um aumento da velocidade de corrosão e a mobilidade dos íons, porém visto de outro ângulo, a sua diminuição pode dar lugar a condensações que por sua vez podem produzir incrementos locais onde exista umidade. É importante destacar que a temperatura e a umidade podem ter efeitos opostos no sentido de que o aumento da temperatura acelera a corrosão, mas diminui a condensação, ou seja, diminui a umidade local.

Existem 4(quatro) tipos de corrosão:

a) Corrosão Generalizada

A corrosão uniforme ou generalizada ocorre devido a uma perda generalizada da película de passivação, resultante da frente de carbonatação no concreto e/ou presença excessiva de cloretos (AGUIAR, 2006).

b) Corrosão Localizada

A corrosão localizada forma-se por dissolução localizada da película de passivação, tipicamente causada pela penetração de íons cloretos no meio, vindos do exterior ou pertencente a algum constituinte do concreto (AGUIAR, 2006).

c) Corrosão Galvânica

Este tipo de corrosão ocorre quando existem diferentes tipos de metal no mesmo meio eletrolítico. Cada tipo de aço tem uma energia diferente e quando há o contato entre eles há transferência de elétrons de um para o outro e então se inicia o processo de corrosão.

d) Corrosão sob Tensão

A corrosão sob tensão, como seu nome indica, se caracteriza por ocorrer em aços submetidos a elevadas tensões em cuja superfície é gerada uma microfissura que vai progredindo muito rapidamente provocando a ruptura brusca e frágil do metal (ANDRADE, 1992).

2.3 MATERIAIS E SISTEMAS DE REPARO

Atualmente existe uma grande variedade de materiais e sistemas de reparos disponíveis no mercado, este tópico apresentará de forma sucinta e genérica estes materiais, pois a gama de variações para aplicações específicas é tão vasta que alguns fabricantes disponibilizam manuais para os seus produtos.

2.3.1 ARGAMASSA POLIMÉRICA

Segundo HELENE (1992), são argamassas à base de cimento Portland modificadas com polímeros, com agregados com graduação adequada; geralmente com granulometria contínua, atendendo às curvas de Boloney ou com granulometria descontínua no caso de alta resistência à abrasão. Formuladas com aditivos e adições que lhes conferem propriedades especiais. Em geral tem retração compensada e são tixotrópicas para uso em superfícies verticais e inclinadas.

Podem ser formuladas com resinas acrílicas do tipo metilmetacrilato ou estireno-butadieno ou então com resinas à base de PVA.

2.3.2 GRAUTES DE BASE CIMENTO

Segundo HELENE (1992), o graute é um material fluido e auto adensável no estado recém misturado, formulado para preencher cavidade e subsequentemente tornar se aderente, resistente e sem retração no estado endurecido.

Um graute de base cimento é constituído de cimento Portland comum, composto ou de alta resistência inicial, agregados de granulometria adequada, aditivos expansores e aditivos superplastificantes.

Por suas características de fluidez, boa aderência, baixa retração e alta impermeabilidade, este tipo de material é convenientemente usado para reparos em locais de acesso difícil ou em caso de seções densamente armadas.

2.3.3 VERNIZES E HIDROFUGANTES DE SUPERFÍCIE

Segundo HELENE (1992), denominam-se vernizes e hidrofugantes as pinturas aplicadas à superfície da estrutura de concreto, destinadas a proteção e impermeabilização sem alteração substancial de suas características.

Normalmente tem maior aplicação em estruturas e alvenarias aparentes, sem revestimentos. Não são recomendáveis em locais com solicitação mecânica e física forte, nem para locais submetidos à pressão de água, tais como reservatórios, canaletas e bacias de contenção.

Podem formar um filme superficial contínuo, tais como os vernizes poliuretanos alifáticos e os vernizes epóxi, ambos bicomponentes e os vernizes de base acrílica monocomponentes.

Os hidrofugantes são todos de base silicone e podem ser dos seguintes tipos: resina de silicone, silano ou síloxanos oligoméricos. Todos são monocomponentes dispersos em solvente. Estes produtos tem a vantagem sobre os formadores de filme de permitir a livre circulação de vapor de água e com isso reduzir, na maioria dos casos, os riscos de condensação, formação de bolhas e bolor na superfície ou interior da estrutura.

2.3.4 SELANTES

Segundo HELENE (1992), são materiais utilizados nas juntas de movimentação das estruturas de concreto, com o objetivo de impedir a passagem de líquidos, gases, vapor ou partículas sólidas para o interior da estrutura.

No momento que são solicitados e se deformam, deve possuir características elásticas e de recuperação compatíveis com os esforços e deformações sofridos.

2.3.5 ADESIVOS E PRIMERS

Segundo HELENE (1992), são materiais usados como ponte de aderência entre dois outros, sendo em geral um deles a superfície do concreto velho, também chamado de substrato. Promovem melhoria substancial de aderência entre diversos materiais tais como concreto velho/concreto novo, aço/concreto novo, concreto velho/ argamassa base poliéster, etc.

Os adesivos e primers mais empregados são de base epóxi e os chamados látex, ou seja, base acrílica ou base acetato de polivinila ou base estireno-butadieno. Os de base polivinila (PVA) em geral são ré emulsionáveis o que os torna desaconselháveis para o uso em locais úmidos ou reparos e reforços de importância. Os de base epóxi tem desempenho estrutural superior aos demais, porém tem o inconveniente de exigirem substrato seco, o que nem sempre é viável em obras.

2.4 PROCEDIMENTOS DE REPARO E RECUPERAÇÃO RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Para assegurar um bom desempenho, é importante a correta execução dos trabalhos de reparo e manutenção. Este tópico apresentará os principais procedimentos de execução nos trabalhos de recuperação estrutural:

- **LIMPEZA DE SUPERFÍCIE:** É a limpeza sobre a superfície do concreto da estrutura a ser recuperada para remoção de impurezas como sujeiras, fungos e eflorescências, além disto, a limpeza promove abertura dos poros

do concreto. Pode ser realizada com hidro jateamento ou lixamento elétrico.

- **DELIMITAÇÃO:** Promove a retirada de rebarbas e delimita o contorno da área de reparo. Pode ser realizada também para a abertura de vincos para tratamento de fissuras. São executadas com o uso de ferramentas elétricas com um disco de corte.
- **ESCARIFICAÇÃO E DEMOLIÇÃO:** É a abertura controlada da estrutura através da remoção do concreto em uma área demarcada para a retirada de material com resistência ou características indesejadas na estrutura. Este processo pode ser realizado em processo manual com o uso de talhadeira e marreta ou através de meio mecânico com o uso de ferramentas elétricas ou pneumáticas.
- **LIMPEZA DAS ARMAÇÕES:** É o lixamento da barra de aço para remoção de produtos de corrosão incrustados na armação. Este procedimento pode ser realizado através de limpeza manual com o uso de escovas de cerda metálica, através de lixamento mecânico com o uso de ferramentas elétricas ou através de jateamento abrasivo.
- **REFORÇO DE ARMAÇÃO:** É a recomposição da densidade de armação dimensionada para estrutura. Devido ao processo de corrosão, ocorre no aço uma perda de seção que compromete a segurança da estrutura, por isto é necessário complementar a armação ou em alguns casos até mesmo a troca da armação existente por uma nova. Este processo pode ser realizado através de transpasse da barra de aço na armação da estrutura ou através da ancoragem da barra ao concreto da estrutura. Os dois processos estão previstos na NBR 6118:2014.

- **LIMPEZA DE SUPERFÍCIE:** É um conjunto de procedimentos efetuados instantes antes da aplicação propriamente dita da argamassa de recuperação. Estes procedimentos buscam a remoção de todos os materiais soltos e pulverulentos do substrato além de promover a saturação do concreto a fim de melhorar a aderência e reduzir as fissurações de retração da argamassa de reparo.
- **RECOMPOSIÇÃO DO CONCRETO:** É a aplicação propriamente dita da argamassa de reparo para recompor o concreto deteriorado ou removido para o tratamento da estrutura. Este processo pode ser realizado através de aplicação manual, com ou sem o uso de colher de pedreiro ou através de projeção com o uso de equipamentos pneumáticos.

2.5 IMPERMEABILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

2.5.1 HISTÓRICO DA IMPERMEABILIZAÇÃO

A necessidade de impermeabilizar estruturas vem de muito tempo, os primeiros registros conhecidos desse sistema, ocorreram na Arca de Noé e Torre de Babel, de acordo com versículos do antigo testamento as mesmas foram impermeabilizadas com asfalto, em Gênesis 6:14: “Faze uma arca de madeira resinosa; tu a farás de caniços e a calafetarás com betume por dentro e por fora”, é possível observar a preocupação em gerar um barco seguro e salvar as espécies do dilúvio que ocorreria.

Contudo podemos dizer que os primeiros registros de utilização humana de betume está datado em 5000 a.C. Na Mesopotâmia, em 3000 a.C, o betume era utilizado como material de construção, encontrado entre os rios Tigre e o Eufrates. Em Jerusalém foi introduzido o betume no templo para iluminar altares.

Eram também utilizados pelas civilizações da Ásia Menor como material atuante como cimento para alvenarias, para colar objetos e na impermeabilização de pisos sagrados.

Com as mesmas finalidades foram utilizados na Índia e Egito, onde também serviam para conservar cadáveres. Os materiais betuminosos foram também empregados pelos romanos para impermeabilização de piscinas e pavimentação de pisos. A história da utilização do betume em construção de vias reporta-se aos anos 2.600 – 2.400 a.C, quando foram construídas as Pirâmides do Egito. Toda a tecnologia destas construções estava baseada na utilização de um material com poder aglutinante, o betume.

Com a chegada da revolução industrial de 1.760 á meados de 1.820 – 1.840, nesse período as construções ganharam grandes vãos horizontais e lajes planas, deixando o padrão de telhado inclinado para escoamento para trás, com isso vieram também às infiltrações de água, as movimentações estruturais de acomodação inicial e consequentemente à criação de novos materiais com características de permeabilidade, elasticidade, extensibilidade, entre outros. Com o surgimento das trincas e fissuras, por exemplo, decorrentes de efeito térmico, onde a estrutura no calor expande e no frio retrai, ocasionando fissuras em materiais rígidos, desenvolveram-se materiais baseados na indústria têxtil que auxiliavam no controle dessa movimentação natural, evitando a fissuração em excesso e mantendo assim a estrutura mais próxima do estado estanque.

De acordo com a literatura a água é a grande responsável por 85% das anomalias encontradas nas edificações, a sua agressividade pode ser encontrada em todos seus estados físicos: gasoso, líquido e sólido (menos usual no Brasil), a forma gasosa é muito perigosa devido à capacidade de penetração, que é maior que no estado líquido, é considerada o agente canalizador ou provocador da corrosão, deterioração da estrutura por consequência, surgimento de manchas enegrecidas, etc. A impermeabilização visa a proteção das estruturas, mantendo a estanqueidade e direcionamento da água para onde se desejar, evitando agressões e deterioração, aumento assim a durabilidade e vida útil das estruturas.

A normalização da impermeabilização ganhou ênfase com as obras do metro de São Paulo, em meados de 1.968, onde se iniciaram as reuniões da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, que tem sua primeira publicação de norma em 1975, neste mesmo ano é fundada o IBI - Instituto Brasileiro de Impermeabilização para prosseguir com os trabalhos de normalização e iniciar um processo de divulgação da importância da impermeabilização que prossegue até os dias de hoje.

2.5.2 IMPORTÂNCIA DO PROJETO E DETALHES

Embora as normas preconizem que a impermeabilização é parte integrante do projeto de uma estrutura e de estabelecer que o projeto de impermeabilização deve ser desenvolvido conjuntamente com o projeto geral e os projetos setoriais de modo a serem previstas a correspondentes em termos de dimensões cargas e detalhes, a realidade lamentavelmente é bem diferente (Picchi, 1986).

Ainda segundo Picchi (1986), a falta de um projeto específico da impermeabilização especificando os detalhes necessários desenvolvidos de maneira coordenada com o projeto da estrutura, prevendo-se as interações com a estrutura, instalações e etc., implica em uma série de improvisações na obra que além de bastante onerosas leva geralmente a soluções que não são eficientes.

Para que o processo de impermeabilização seja concluído de forma satisfatória, a NBR 9574:2008 – Execução de impermeabilização estabelece parâmetros que devem ser realizados na obra. Estes parâmetros contemplam atividades que asseguram os cuidados com o preparo da superfície, condições do substrato para a aplicação da impermeabilização e realização de teste de estanqueidade ao final da obra.

2.5.3 VISÃO GERAL DOS SISTEMAS

Os sistemas de impermeabilização existentes possuem diferenças de concepção, princípio de funcionamento, materiais, técnicas de aplicação, etc. Estas variações servem de base para diversas classificações, que podem auxiliar na compreensão e comparação dos sistemas disponíveis no mercado (Picchi 1986).

Para o desenvolvimento dos projetos de impermeabilização é de fundamental importância o conhecimento destas classificações para a seleção do sistema que confira a estrutura o melhor desempenho contra a umidade, pois com o avanço tecnológico e crescimento de consumo, existem no mercado uma enorme gama de produtos de impermeabilização.

A NBR 9575:2010 apresenta as seguintes classificações dos produtos de impermeabilização:

Segundo o material constituinte: Cimentícios, asfálticos e poliméricos.

Segundo a sua função: Preparo de substrato, preenchimento de juntas, tratamento estanque de juntas, tratamento de inserção.

A norma apresenta ainda o critério de seleção do sistema de impermeabilização segundo a solicitação imposta pelo fluido nas partes construtivas. A solicitação pode ocorrer de quatro formas distintas:

- imposta pela água de percolação;
- imposta pela água de condensação;
- imposta pela umidade do solo;
- imposta pelo fluido sob pressão unilateral ou bilateral.

2.5.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

Dentre a grande quantidade de sistemas convencionais e novos sistemas de impermeabilização, podemos classifica-los quanto á flexibilidade em rígidos e flexíveis e quanto á aderência em aderidos, não aderidos e parcialmente aderidos conforme figura 11.

Figura 11: Divisão de sistemas em rígidos e flexíveis

▪ Concreto impermeável ▪ Perfilados de PVC ▪ Selantes e perfis hidroexpansíveis ▪ Aditivos hidrófugos ou bloqueadores de poro ▪ Sistemas cristalizantes ▪ Emulsões e soluções asfálticas	Rígidos
▪ Polímero com ou sem cimento ▪ Argamassas poliméricas ▪ Membranas líquidas ▪ Mantas asfálticas ▪ Mantas sintéticas	Flexíveis
▪ Revestimentos de alta resistência química	Rígidos ou Flexíveis

Fonte: apostila de estudos IDD.

2.5.4.1 Classificação quanto á flexibilidade dos sistemas

A classificação dos produtos e escolha de sistema á ser adotado deve ser feita baseada em fatores como a solução imposta pela água, a tendência de

movimentação da área, a exposição ao intemperismo, o tamanho e interface com os demais sistemas.

Em resumo considerar que para a impermeabilização abaixo da linha do solo (sub pressão), recomenda-se a utilização de sistema rígido, pois o próprio solo oferece uma condição de isolamento térmico, sendo assim as movimentações são controladas, não há incidência de raios UV e as propriedades dos materiais são mantidas, no geral o sistema rígido é o conjunto de produtos aplicáveis nas partes construtivas não sujeitas a fissuração, conforme norma NBR 9575:2010.

Os sistemas flexíveis são aplicados em estruturas sujeitas a movimentações, incidência de raios UV onde há modificação de coeficiente de dilatação térmica e adsorção pela característica dos materiais aplicados, no geral o sistema flexível é o conjunto de produtos aplicáveis nas partes construtivas sujeitas à fissuração, conforme norma NBR 9575:2010.

Os sistemas semi-flexíveis não são contemplados nas classificações de norma, este termo é utilizado como prática de mercado para designar a característica dos materiais intermediários, sendo assim temos materiais mais próximo da característica rígida ou flexível, como por exemplo as argamassas poliméricas formuladas com resina termoplástica proporcionando maior elasticidade à argamassa. Estas características estão resumidas na figura 12.

Figura 12: Características e exemplos de materiais rígidos e flexíveis

Características dos sistemas		
	RÍGIDOS	FLEXÍVEIS
Aplicações indicadas	Sua aplicação é recomendada para as partes mais estáveis da edificação. São locais menos sujeitos ao aparecimento de trincas e fissuras, que poderiam comprometer a impermeabilização. Por isso, sua principal utilização ocorre em fundações, pisos internos em contato com o solo, contenções e piscinas enterradas.	A elasticidade desses produtos faz com que eles sejam mais indicados para estruturas sujeitas a movimentações, vibrações, insolação e variações térmicas (dilações e contrações). Portanto, são mais usados em lajes (térreo e cobertura), banheiros, cozinhas, terraços e reservatórios elevados.
Como são vendidos	Como aditivos químicos para argamassa ou como argamassa industrializada. Também são encontradas misturas aplicadas em forma de pintura, formando um revestimento impermeável.	Os sistemas flexíveis são encontrados na forma de mantas, aderidas ou não à estrutura. Também fazem parte desse grupo misturas moldadas no local, que, depois de secas, formam uma membrana elástica protetora.
Exemplos	» Argamassas impermeabilizantes » Cimentos poliméricos » Cristalizantes » Resinas epóxi	» Mantas asfálticas » Membranas asfálticas moldadas no local (a quente ou a frio) » Mantas de PEAD, PVC, E PDM » Membranas de poliuretano, de poliureta, resinas acrílicas, etc.

Fonte: apostila de estudos IDD.

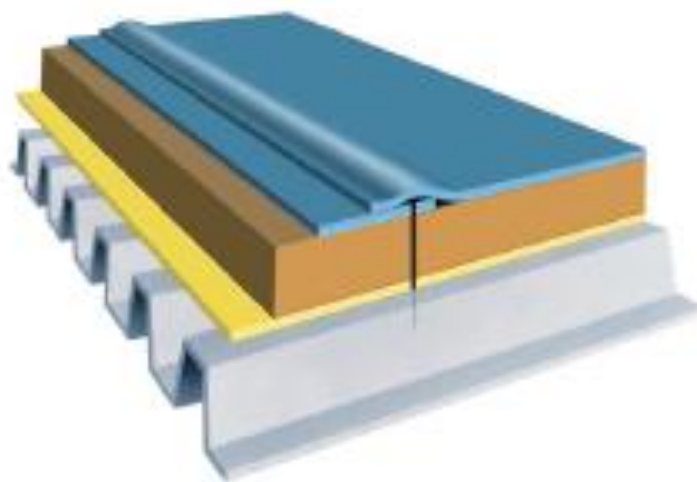
2.5.4.2 Classificação quanto à aderência dos sistemas

A classificação dos sistemas quanto à aderência são divididos em: aderidos, não aderidos e parcialmente aderidos.

O sistema aderido tem como característica a ligação direta com o substrato, por exemplo, o primer de ligação entre as camadas (imprimação) do revestimento permeável.

O sistema não aderido tem como característica a fixação por elemento mecânico, por exemplo, chumbadores, placas de metal para solda, ou ainda o posicionamento e fixação por pressão feita pela própria estrutura conforme ilustrado na figura 13.

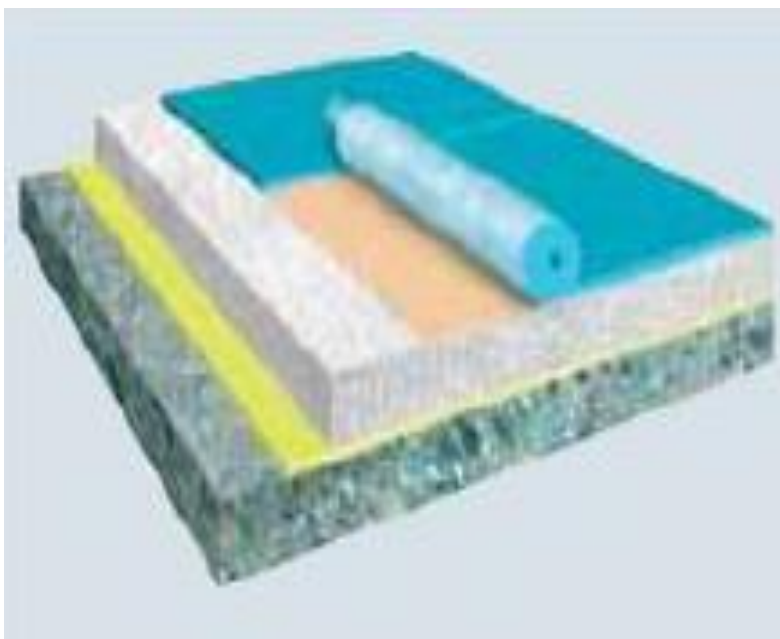
Figura 13: Ilustração de sistema não aderido



Fonte: apostila de estudos IDD.

O sistema parcialmente aderido tem como característica a fixação mecânica e imprimação de forma parcial, como por exemplo, a impermeabilização em lajes com sistema de manta de PVC, a membrana é posicionada sob o geotêxtil que é parcialmente aderido com cola de contato no substrato, as extremidade são fixadas mecanicamente por parafusos tipo chumbadores e placa de metal soldada conforme ilustrado na figura 14.

Figura 14: Ilustração de sistema aderido com imprimação



Fonte: apostila de estudos IDD.

2.5.4.3 Classificação quanto á característica dos sistemas

Esta classificação refere-se ao método executivo dos materiais, que podem ser moldados in loco ou pré-fabricado.

A impermeabilização moldada in loco é obtida pela aplicação a quente ou frio, o material não chega preparado para aplicação, por exemplo, nas membranas líquidas de poliuretano monocomponente onde o material deve ser misturado para que haja a reação química e na sequência é realizada a aplicação em camadas, em resumo os sistemas moldados in loco, possuem espessura variada de acordo com quantidade de camadas sobrepostas a serem aplicadas e velocidade maior de aplicação devido o tempo de aberto do produto “pot life”.

Os materiais pré-fabricados por sua vez são disponibilizados para a obra de forma pronta, como por exemplo, as mantas de PVC onde o material deve ser

posicionado sobre a superfície e fixado mecanicamente, em resumo os sistemas pré-fabricados possuem espessura conhecida, são aplicados geralmente em camada única e possui uma velocidade de aplicação rápida.

2.5.4.4 Principais materiais características e aplicações de materiais moldados in loco e pré-fabricados

Será apresentado nos parágrafos á seguir as características dos materiais moldados in loco.

a- Asfaltos moldados a quente: É um dos sistemas mais tradicionais do Brasil, utilizado desde o inicio da impermeabilização do Pais, consiste da moldagem de uma membrana de por meio de sucessivas demãos de asfalto derretido, intercaladas com tela estruturante.

b- Soluções e emulsões asfálticas: É o produto resultante de mistura de asfaltos, modificados ou não por polímeros, em água ou solvente, são geralmente aplicados a frio como primer de imprimação ou impermeabilização de áreas molhadas em ambientes internos.

c- Membrana de poliuretano: Impermeabilizante monocomponente ou bi componente, aplicado a frio, com grande estabilidade química, possui boa aderência a diversos tipos de substrato, elasticidade e resistência a altas temperaturas com boa durabilidade.

d- Membrana de poliureia: Revestimento aplicado por spray com equipamento de pulverização, indicado para áreas que solicitam liberação rápida (minutos), depois de aplicado tem grande elasticidade e resistência química.

e- Membrana acrílica: Material formado por resina acrílica dispersa em água, executada em demãos intercaladas por estruturante, resistente aos raios UV, sugere a aplicação em superfícies expostas e não transitáveis com inclinação superior a 2%, para que não se acumule água e danifique o sistema de impermeabilização.

f- Resina termoplástica: As resinas termoplásticas são impermeabilizantes flexíveis bicomponentes, compostas por uma parte líquida (resina acrílica) e outra em pó (cimento aditivado), que quando misturados formam uma pasta que pode ser aplicada com broxa em diversas demãos, estruturada ou não com tela de poliéster, esse sistema não possui resistência a pressão negativa.

Será apresentado nos parágrafos a seguir as características dos materiais pré fabricados.

a- Manta de PEAD: As geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) têm em sua composição cerca de 97,5 % polietileno virgem e 2,5% de fuligem, responsável pela resistência aos raios UV, contem adições de substancias químicas que aumentam a resistência do produto a intempéries , ao calor e degradação.

b- Manta de EPDM: O etileno-propileno-dieno-monômero (EPDM) é um tipo de borracha que pode ser bastante esticada, permitindo assim que a geomembrana se molde aos tipos de superfície, este material também é utilizado na fabricação de mantas para cobertura.

c- Mantas de PVC: As mantas de PVC podem ser empregadas na impermeabilização de estruturas de concreto (tuneis, lajes, subsolos, etc) e coberturas, possui resistência a raios UV e podem ser produzidas para resistir a penetração de raízes e micro organismos.

d- Manta de TPO: Essas membranas são fabricadas com material termoplástico flexível e reforçado com malha de poliéster, possui resistência a rasgos, perfurações, bactérias, raios solares e ações climáticas.

2.5.4.5 Utilização de EPIS e ferramentas adequadas para execução dos trabalhos com segurança:

A Segurança do trabalho na construção civil é uma das maiores preocupações de todos aqueles que trabalham diariamente em canteiros de obra.

De acordo com a última atualização do Anuário Estatístico da Previdência Social, entre 2007 e 2013 foram registrados cinco milhões de acidentes de trabalho no Brasil.

Os dados também mostraram que a construção civil é o quinto setor econômico com o maior número de acidentes e o segundo mais letal aos trabalhadores. Contudo é importante ressaltar a importância do uso das ferramentas em bom estado de conservação para manuseio dos produtos e demais atividades em campo e utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) como: botas, luvas, capacete, óculos de segurança, máscaras (para aplicação de produtos químicos) e uniformes.

2.6 ETAPAS DA IMPERMEABILIZAÇÃO

As etapas principais de um sistema de impermeabilização convencional se dividem em: tratamento de substrato, impermeabilização, teste de estanqueidade (comprovação de eficácia) e sistemas complementares.

2.6.1 Tratamento de substrato

Esta primeira etapa é de suma importância, deve se proceder com uma verificação rigorosa para detecção de pontos falhos na concretagem, trincas e fissuras, destacamentos de concreto, entre outros. Essas anomalias devem ser corrigidas com argamassa de cimento e areia em traço adequado e ou argamassa industrializada, com adição de ponte de aderência para colagem entre superfície nova x superfície antiga, com o objetivo de evitar o destacamento dos reparos pontuais posteriormente.

A regularização da superfície consiste em adequar o substrato existente para receber o sistema de impermeabilização, é necessário fornecer a camada

permeável declividade mínima de 1% quando se fizer necessário de conforme orientação em NBR 9575:2010, item 6.4 (a).

2.6.2 Aplicação do sistema de Impermeabilização

Esta etapa tem a função de barrar a percolação de água, deve se aplicar o sistema conforme especificado em projeto, obedecendo a sequencia de camadas (primer de aderência + demão de aplicação), respeitando os intervalos entre demãos de material se houver necessidade.

2.6.3 Teste de estanqueidade

Esta etapa tem a função de comprovar a eficácia do sistema de impermeabilização aplicado, com observação de lâmina de água por 72 horas conforme orientação em NBR 15575: 2013.

2.6.4 Sistemas complementares

Esta etapa refere-se aos sistemas previstos após a camada de impermeabilização, são eles: camada separadora, que é a camada que apoia e protege a camada de impermeabilização de agressões que podem ser causadas pela proteção mecânica, recomenda-se a utilização de material geotêxtil de poliéster; Camada de amortecimento que tem como objetivo dissipar os esforços estáticos e dinâmicos atuantes sobre a camada de impermeabilização recomenda-se a utilização de camada fina de areia x cimento e ou geotêxtil de poliéster; Camada drenante que tem como objetivo facilitar o escoamento que atuam junto a camada impermeável recomenda-se a utilização de geotêxtil polipropileno; Camada separadora que tem como objetivo evitar a aderência de outros materiais sobre a camada impermeável recomenda-se a utilização de papel kraft; Camada

de proteção mecânica que tem como objetivo reduzir as oscilações térmicas sobre as estruturas e camada impermeável, protegendo-a e aumentando sua vida útil, acarreta em economia de energia e aumento da vida útil dos componentes da edificação, recomenda-se concreto celular, lã de vidro, lã de rocha, mineral expandido e poliestireno; Tratamento de juntas recomenda-se que a impermeabilização proposta respeite as juntas de dilatação do edifício, os materiais a serem utilizados devem obedecer especificação do projetista.

2.7 PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURA

Não existe no Brasil uma norma que apresente os requisitos e parâmetros para a concepção de projetos e execução de obras de recuperação. Contudo no mercado há empresas especializadas que elaboram através das referências das normas internacionais e através das boas práticas projetos eficazes e eficientes para este tipo de trabalho.

A elaboração de um projeto de recuperação é fundamental para assegurar a durabilidade do trabalho realizado, pois este apresenta uma anamnese e o diagnóstico das causas que geraram a deterioração da estrutura. Isto possibilita uma especificação assertiva dos produtos a serem utilizados no trabalho e consequentemente possibilita uma maior durabilidade do trabalho, além de estabelecer as metodologias de execução e aplicação dos produtos mais adequados para a estrutura.

A solução de impermeabilização requerida nesta estrutura demandou a aplicação de um revestimento de alto desempenho devido os requisitos necessários devido o tipo de uso ao qual a estrutura foi projetada, sendo estes a resistência à abrasão devido ao elevado tráfego de pessoas, acabamento antiderrapante para garantir a segurança dos usuários, resistência a impactos para suportar os equipamentos utilizados nas apresentações e eventos que ocorrem na

estrutura e resistência a UV para manter as características estéticas ao longo do tempo.

O sistema escolhido e aplicado para a solução do piso foi o sistema à base de resina de poliuretano.

Para a solução da fachada foi recomendado a aplicação de pintura hidrofugante elástica de baixa espessura á base de resinas acrílicas.

3. ESTUDO DE CASO – TEATRO L'OCCITANE EM TRANCOSO.

Neste capítulo será apresentado um estudo de caso de um teatro, localizado em Trancoso, Porto Seguro no estado da Bahia conforme a figura 15. Sua implantação foi pensada de forma que ficasse natural sua localização no terreno, do ponto de vista sustentável foi possível promover economia em formas se comparado ao tradicional moldado in loco, possibilitando criar formas complexas, eliminação de grandes veículos, equipamentos e rapidez na construção.



Figura 15: Localização do teatro – Fonte: Google Earth.

O projeto contempla a construção de dois anfiteatros, sendo um coberto e um ao ar livre e uma edificação de apoio, a obra foi construída em tempo recorde tendo seu início em meados de 2.012 e finalização em meados de 2.014, fruto da coordenação de quatro amigos e projeto do arquiteto François Valentiny de Luxemburgo, tinha como premissa levar na concha acústica em concreto: eventos musicais, desenvolvimento econômico e social para o litoral baiano.

3.1 CONCEPÇÃO CONSTRUTIVA

Sua concepção construtiva baseia-se na utilização de concreto projetado em formas de madeira e estrutura interna em aço tubular, formando a concha sinuosa que abriga o anfiteatro, fazendo com que o som não seja disperso na imensidão do terreno, na região das arquibancadas temos o posicionamento de tijolos de concreto, telas de amarração e lançamento de concreto, como sustentação temos vigas em concreto e vigas invertidas em estrutura metálica atirantadas, posicionadas abaixo da arquibancada principal, a laje do teatro é do tipo alveolar, sendo coberta por placas de concreto aparente.

A edificação de apoio chamada *Facilities*, tem concepção estrutural de pilar e viga embutida, laje plana, fechamentos em madeira e concreto projeto mantendo o mesmo padrão estético do anfiteatro. O centro cultural completo tem dois auditórios com 2.750 m² de área e o bloco de apoio com aproximadamente de 790 m².

“Queríamos ter um caráter monolítico e escultural, com um material uniforme e integrador”, disse Torsten Altmeye, da equipe de arquitetos de François Valentiny.

A figura 16 apresenta uma vista geral da arquitetura arrojada da estrutura.



Figura 16: Vista lateral do teatro – Fonte: site do festival de musica em Trancoso.

3.2 ANALISE CONSTRUTIVA

Um ano após a entrega da obra, surgiram anomalias como: manchas enegrecidas provenientes de infiltração em fachada principal, pontos de infiltração nas paredes, piso, arquibancadas e palco, houve o surgimento de trincas e fissuras nas paredes e viga de concreto. A partir das reclamações e requisitos do cliente, foi feita uma investigação das possíveis falhas de projeto e execução da obra.

3.2.1 Escolha dos materiais

Alguns fatores são bastante relevantes quanto à escolha dos materiais a serem empregados em uma obra, conforme informado em textos acima. A região de implantação do estudo de caso em questão possui clima instável, rodeado de vegetação e umidade relativa considerada alta.

a- Primeira ressalva de projeto: O sistema construtivo em estrutura metálica tubular, telas de aço, madeira e concreto “Shotcrete” projetado por mais veloz que pareça, exige uma espera de tempo entre as etapas de trabalho, de acordo com informações coletadas com arquiteto responsável pela construção, no período da concretagem houve incidência de fortes chuvas por dias consecutivos, ainda assim a concretagem ocorreu sobre as formas de madeiras molhadas.

b- Segunda ressalva de projeto: As madeiras selecionadas para as formas foram do tipo madeirite sem plastificação, com baixa qualidade, o material ideal para esta utilização são compensados plastificados que possuem menor permeabilidade. Além disto, a execução destas formas demandou uma complexa operação de montagem conforme é possível observar na figura 17.



Figura 17: Vista das formas de madeira na fachada interna e plateia A –
Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

c- Terceira ressalva: É possível observar na figura 18 fornecida pelo cliente que após as primeiras concretagens, na etapa de impermeabilização com manta asfáltica, provavelmente ocorreram chuvas e o sistema ficou com empoçamentos de água sobre a manta e soldas.



Figura 18: Vista da plateia A com impermeabilização de manta asfáltica –
Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

d- Quarta ressalva: Na figura 19 fornecida, também é possível observar que o posicionamento das telas de amarração, por exemplo, nas arquibancadas foram seccionadas de forma que a estrutura se movimentasse em sentido diferente e sem controle, ocasionado trincas, fissuras e áreas suscetíveis à infiltração de água.

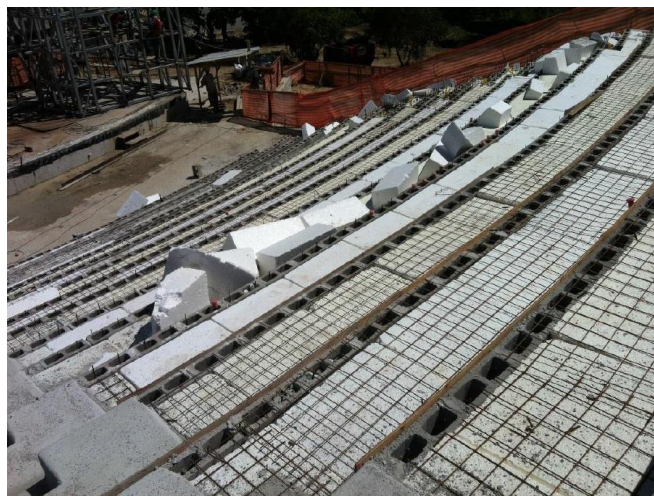


Figura 19: Vista da plateia A com posicionamento de telas de amarração –
Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

e- Quinta ressalva: Conforme a figura 20, existem composições de estruturas metálicas com estrutura em concreto armado, sendo que a estrutura em concreto e a viga em estrutura metálica possuem coeficientes térmicos e de dilatação que atuam de forma diferente, sendo assim devido o posicionamento de encontro entre elas, há um momento de torção ocasionando a fissuração dos elementos.



Figura 20: Vista do encontro de vigas metálicas com estruturas em concreto armado – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

3.3 ANÁLISE DA FORMA

Construído em meio ao luxuoso complexo Terra Vista (condomínio de alto padrão), sua forma chama a atenção pela magnitude do paredão cego de formato curvilíneo em concreto projetado conforme figura 21. Onde surgem as primeiras anomalias (citado em item 3.3.1: escolha de materiais), o concreto projetado tem como característica a rapidez na execução e aspecto final rugoso, o que permite em alguns pontos acúmulo de sujidades e percolação de água, nesse processo ocorre o encontro da água com materiais: químicos do concreto, estruturas metálicas de apoio e madeirites das formas, ocasionando manchas enegrecidas na estrutura proveniente de fungos, eflorescência e o processo de deterioração de materiais internos em contato com a água.



Figura 21: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com manchas enegrecidas – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

Nas paredes de fechamento lateral, as fendas triangulares valorizam a paisagem e revelam a vegetação da mata atlântica integrando a construção ao ambiente, algum tempo após a entrega da obra foi possível observar pontos de vazamento na intersecção das fendas, foi feita uma prospecção na região e constatou-se que os elementos não foram travados com tela de aço em sua intersecção, o que ocasionou um diferencial de movimentação e fissuração, permitindo assim a entrada de agentes agressivos, conforme figura 22.



Figura 22: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com manchas enegrecidas – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

As análises informadas nos parágrafos anteriores refere-se à forma do anfiteatro (concha acústica), o bloco de apoio possui arquitetura convencional com movimentação controlada, contudo o surgimento de manchas enegrecidas também se repete nos fechamentos conforme itens mencionados acima e devido o clima úmido na região o que acarreta em uma migração natural da água pelos poros do concreto projetado.

As estruturas em concreto após executadas, possuem fase inicial de acomodação de aproximadamente cinco anos, nesse período a estrutura tende a assentar no terreno de forma natural, conseqüentemente movimentando suas partes onde é possível observar o surgimento de trincas e fissuras, a região de

Trancoso determina um agravante para esse ciclo, tendo em vista que as temperaturas e umidade relativa do ar oscilam consideravelmente durante o dia, por exemplo, foram feitas medições com equipamento a laser e os resultados obtidos variam em um gradiente térmico superior a 20° C, sendo 47°C á 50° C, do início da manhã até o meio dia e 38°C á 26°C do início da tarde até a noite, contudo essa oscilação com variáveis grandes é prejudicial à estrutura, pois ocasiona dilatação térmica brusca nos elementos estruturais de até 8 mm.

3.4 PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO

3.4.1 Impermeabilização das fachadas em concreto

Após análise da concepção construtiva, escolha de materiais e forma, se faz necessário elaboração de projeto de impermeabilização detalhado onde serão sugeridos os materiais a serem utilizados, bem como a quantidade para que seja garantida a eficácia do sistema e ganho de durabilidade, nas fachadas o requisito do cliente era devolver a característica do concreto novo quando houve a entrega da obra e eliminar os vazamentos das fendas laterais.

Primeira etapa: As superfícies da fachada foram preparadas para receber a impermeabilização de alto desempenho, utilizou-se hidrojateamento com H₂O de alta pressão, mantendo uma distancia de aproximadamente sessenta centímetros com pressão controlada entre 1.5000 a 1.800 libras, para que não houvesse danos ao concreto projetado, bem como destacamento de partículas agregadas. Conforme figura 23.



Figura 23: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com etapa de hidrojateamento iniciada – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

Segunda etapa: Após a etapa de descontaminação das superfícies, foi aplicada uma pintura hidrofugante elástica de baixa espessura, contra a carbonatação, á base de resinas acrílicas em dispersão aquosa, este material é indicado para a pintura de estruturas em ambientes agressivos, não altera a característica da superfície, é permeável ao vapor permitindo assim a respiração da estrutura, impermeável a água de chuvas, possui elevada resistência à difusão de CO₂, dificultando assim fenômenos de carbonatação, possui uma boa resistência ao envelhecimento e elevada elasticidade atuando na acomodação de movimentações cíclicas de fissuras no concreto. A aplicação foi feita com consumo de aproximadamente 200 ml/ m² por demão, sendo necessária aplicação de três demãos para obter uma cor uniforme; Esse projeto de impermeabilização apresentou esta solução para garantir ao cliente uma estrutura com melhor desempenho pelos próximos cinco anos, contemplando que dentro de dois anos deverá ser executada reaplicação de uma demão como plano de manutenção. O resultado pode ser visto na figura 23 e 24.



Figura 24: Vista da fachada principal (Anfiteatro) com etapa de aplicação de hidrofugante elástico – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.



Figura 25: Vista da fachada principal (Facilities) com etapa de aplicação de hidrofugante elástico – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

3.4.2 Impermeabilização do piso

Após análise da concepção construtiva, escolha de materiais que foram empregados e intempéries ocorridas no período da obra (citado em item 3.2.1: escolha de materiais), foi elaborado um projeto de impermeabilização que previa a retirada do revestimento existente em polimetilmetacrilato (PMMA), o qual

apresenta bolhas, fissuras, manchas e desgaste precoce, segundo informações do cliente já haviam sido feitos reparos porém os problemas persistiam, foi possível detectar através de prospecções feitas na obra que o problema estava diretamente ligado a qualidade do substrato onde foi aplicado o revestimento, bem como o teor de umidade aceitável para aplicação desse sistema.

a- Primeira etapa: Retirada de revestimento aplicado anteriormente para que o substrato possa respirar e ou secar, permitindo a evaporação superficial de água acumulada. Conforme figura 25.



Figura 26: Vista do palco A na etapa de remoção de impermeabilização existente – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

b- Segunda etapa: Levando em consideração a baixa resistência do substrato, existência de fissuras, som cavo em regiões pontuais, descontinuidade de juntas de desolidarização e dilatação, baixo cobrimento e seccionamento de tela de reforço, o projeto de impermeabilização recomendou a realização da remoção e recomposição pontual com argamassa de cimento e areia em traço adequado nas regiões com anomalias, utilizando ponte de aderência de base epóxi, com o objetivo de colagem entre o concreto velho x concreto novo, evitando posteriores destacamentos, conforme a figura 26.

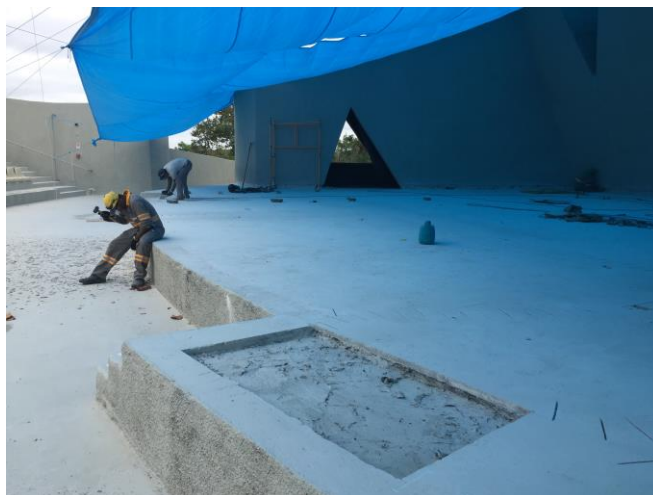


Figura 27: Vista do palco A na etapa de remoção e recomposição pontual de substrato – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

c- Terceira etapa: Execução de grampeamento de trincas, esse tratamento é sugerido quando há constatação de baixa taxa de armadura, portanto foram feitos cortes ao longo da trinca transversalmente e não alinhada, com o objetivo de estruturas essas descontinuidades e reduzir ao máximo sua movimentação, o grampeamento foi feito com barras de ferro 5/8 com comprimento de 20 cm, espaçadas a 25 cm uma das outras, a ancoragem (imprimação) foi feita com resina epóxi de alta viscosidade com incorporação de areia de quartzo de granulometria controlada, conforme figura 27.



Figura 28: Vista do palco A na etapa de tratamento de trincas com grampeamento – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

d- Quarta etapa: Tendo em vista o diagnóstico realizado pelo projeto de impermeabilização sobre as falhas de execução de revestimento aplicado anteriormente, condições do substrato e climáticas inadequadas que poderiam não ser favoráveis a evaporação de água acumulada na laje, foi proposto conforme a figura 28 a aplicação de camada de barreira temporária ao vapor de maneira a permitir a completa polimerização das camadas subsequentes, esse material é tixotropico, á base de resina epóxi e cimento, sem solventes, fornecido em três componentes, possui excelente proteção em ambientes agressivos, boa resistência química, impermeável a líquidos e permeável ao vapor d'água, boa resistência a abrasão, possui resistência ao ataque de sulfatos, o consumo proposto foi de 6 kg/m^2 gerando uma espessura de aproximadamente 3 mm. A medição da umidade limite tolerada pelo produto impermeabilizante foi realizada pelo equipamento medidor tramex, conforme a figura 29.



Figura 29: Vista da área de circulação com aplicação de barreira temporária ao vapor – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.



Figura 30: Verificação de umidade do substrato e ponto de orvalho para aplicação – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

e- Quinta etapa: Aplicação de camada intermediária de ancoragem com resina epóxi de baixa viscosidade, 100% sólidos, com consumo mínimo de $0,3 \text{ kg/m}^2$, que é um material com de base epóxi, bicomponente, possui baixa viscosidade, boa capacidade de penetração e elevada resistência a aderência, com

aspersão de areia de quartzo com granulometria controlada entre 0,180 e 0,300 mm e consumo aproximado de 4kg/m², conforme figura 30.



Figura 31: Vista da área de circulação com aplicação de primer de aderência ao sistema – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

f- Sexta etapa: Aplicação de camada impermeabilizante com revestimento flexível à base de resina de poliuretano aromática, autonivelante, 100% sólidos (isento de solventes), com propriedades de ponteio de fissuras, boa resistência química, mecânica e à abrasão, com espessura de 4mm e consumo de aproximadamente 6kg/m², é recomendável, tanto quanto possível, que as atividades de aplicação do revestimento autonivelante de poliuretano sejam realizadas em período do dia com temperatura ambiente decedente, de maneira a evitar a formação de bolhas, desse evitar também muitas passadas do rolo palitado no mesmo local, sob risco de marcar o revestimento, conforme figura 31.



Figura 32: Vista da área do palco A com aplicação de camada impermeabilizante – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

g- Sétima etapa: Aplicação de camada de pintura de acabamento e selagem superficial com revestimento elástico à base de resina de poliuretano alifática, 100% sólidos, com propriedades de ponteio de fissuras, boa resistência química, mecânica e à abrasão, possui boa estabilidade aos raios UV, aplicada em 2 demãos, com consumo mínimo de $0,9 \text{ kg/m}^2$ e acabamento antiderrapante, conforme figura 32.



Figura 33: Vista da área do palco A com aplicação de camada impermeabilizante final – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

O projeto de impermeabilização além de sugerir os materiais e consumo para aplicação conforme mencionado acima, descreve itens de extrema relevância como, por exemplo, avaliação das condições do substrato quanto ao teor de umidade que pode ser medido com aparelho tipo “Concrete Moisture Encounter” da marca Tramex, modelo analógico (CME4) ou digital (CMExpert II), com capacidade para avaliar até 30mm de profundidade do substrato, sendo que o mesmo deverá registrar umidade superficial máxima de 4% em peso. O equipamento fornece o resultado de imediato sendo possível realizar muitas leituras em pequeno espaço de tempo e, assim, obter uma amostragem segura em relação à área de intervenção.

Quanto ao substrato, após as etapas iniciais de remoção e tratamento de trincas e fissuras deve ter rugosidade conforme especificação do fabricante, baseada no guia do International Concrete Repair Institute – ICRI, que classifica diferentes níveis de rugosidade, variando entre CSP 1 (quase liso) a CSP 9 (muito rugoso). Para aplicação do sistema descrito o fabricante recomenda acabamento entre grau CSP 3 e CSP 4, conforme figura 33.

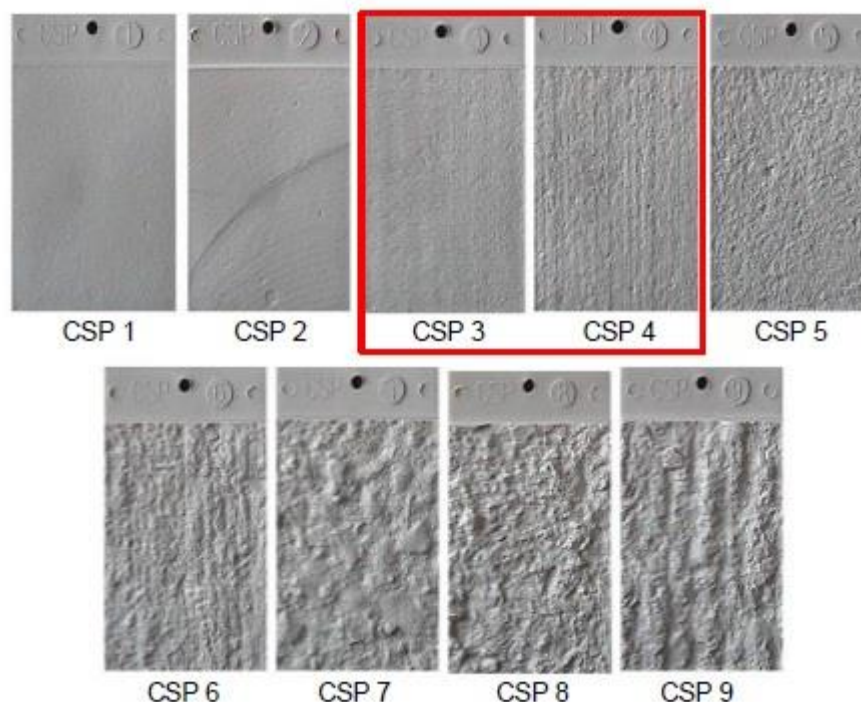


Figura 34: Ilustração de tipos de rugosidade de substrato e apontamento da rugosidade ideal – Fonte: Projeto de impermeabilização – Teatro L Occitane.

Os cantos (encontro entre parede e piso) foram arredondados de maneira a permitir a transição entre superfícies horizontais e verticais, desde o ponto de vista de qualidade de aplicação e acabamentos, bem como reduzir concentrações de tensões em cantos vivos, o projeto prevê arredondamento com raio de aproximadamente 50 mm, empregando ferramental adequado tipo desempenadeira de rodapé, deve ser utilizado material de base epóxi com baixa viscosidade e adição de areia de quartzo em proporção 1: 10 em peso, este tratamento deve ser executado com o primer de aderência ainda estiver pegajoso.

O projeto ressalta a importância de antes de cada etapa mencionada, se faça uma limpeza minuciosa utilizando aspirador de pó e quanto da aplicação das resinas elásticas um pano úmido, com o objetivo de evitar que sujidades e ou partículas soltas interfiram na aderência dos sistemas.

As condições ambientais no momento da aplicação devem ser avaliadas, portanto a temperatura ambiente e do substrato deve se encontrar acima dos 10°C e pelo menos 3°C acima do ponto de orvalho, preferencialmente abaixo dos 30°C.

O ponto de orvalho corresponde à combinação de temperatura e umidade relativa do ar que permite a condensação da umidade sobre o substrato em forma líquida e que pode comprometer as condições de umidade superficial para aplicação e também a qualidade das camadas de revestimento, podendo impedir a polimerização superficial e causar delaminação entre camadas.

É importante ressaltar a importância de atenção na hora de aplicar os revestimentos de base poliuretano, evitando muitas passadas na mesma região sob o risco de marcar o revestimento.

3.4.3 Injeção de epóxi em trinca

Após avaliação e surgimento de anomalias conforme mencionado em item 3.2.1 escolha dos materiais: quinta ressalva, com o aparecimento de fissuras ao longo da viga em concreto, a tendência da peça é perder seu monolitismo e diminuir sua função estrutural, contudo optou-se por fazer o posicionamento dos bicos injetores por meio de furação na estrutural, os furos foram feitos a 45° objetivando preencher a estrutura com resina epóxi em 50% de sua espessura, os bicos foram colocados espaçados em 25 cm, após o posicionamento foi executado o sistema de colmatação da trinca, evitando a saída do material injetado. O material utilizado para injeção é um adesivo estrutural de base epóxi, de baixa viscosidade, isento de solventes, bi-componente, possui elevada aderência sem retração, garantido o colagem entre as superfícies, evita a penetração de agentes agressivos pelas fissuras, recupera o monolitismo do elemento estrutural, possui elevadas resistências mecânicas, químicas e abrasão e elevada durabilidade. A técnica de preparo descrita pode ser vista na figura 34.

O material utilizado para colmatação da fissura é um adesivo epóxi, tixotropico, bi-componente, possui mínima absorção de água, pode ser aplicado em substrato úmido, dispensa o uso de primer de aderência e possui alta resistência mecânica, química e elasticidade.



Figura 35: Vista da viga em concreto com injeção de epóxi – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

3.4.4 Execução de juntas de dilatação

Após avaliação de fotos e histórico de obra, conforme citado em item 3.2.1 escolha dos materiais, a área onde foi proposta a execução da junta de dilatação esta posicionada sobre o encontro de viga metálica e de concreto, que conforme mencionado anteriormente sofreu torção por diferença de coeficiente de dilatação, em paralelo temos a movimentação do solo que foi compactado para receber a estrutura de laje e o comprimento do pano, que de acordo com as boas práticas de engenharia solicita o posicionamento de junta de dilatação para controlar a movimentação e não permitir que surjam trincas e fissuras.

Contudo, o projeto descreveu a execução de seis juntas de dilatação no sentido transversal ao palco, foi executado o corte lateral com dois centímetros por lado, após desobstrução e preparo de área, foi posicionado o EPS para

delimitação da área com fator de forma do selante elástico de base de poliuretano á ser aplicado, para execução do reforço de borda foi proposto a aplicação de Grout estrutural à base de resinas cimentícias modificadas, autonivelante, adequado para bases de trilhos e equipamentos pesados com cargas cíclicas elevadas, indicado para grauteamento de equipamentos com fortes vibrações e impactos com alta resistência à compressão e alta fluidez.

Após esta etapa as bordas da junta de dilatação, foram limpas para receber o primer promotor de aderência, recomendado para melhorar a aderência entre substrato e selantes à base de poliuretano, á seguir foi aplicado selante de poliuretano, monocomponente, de alta resistência química e mecânica, como acabamento foi aplicado o sistema de impermeabilização conforme descrito em item 3.4.2 impermeabilização de piso. A técnica de reparo e reforço das juntas de dilatação é apresentado na figura 35.

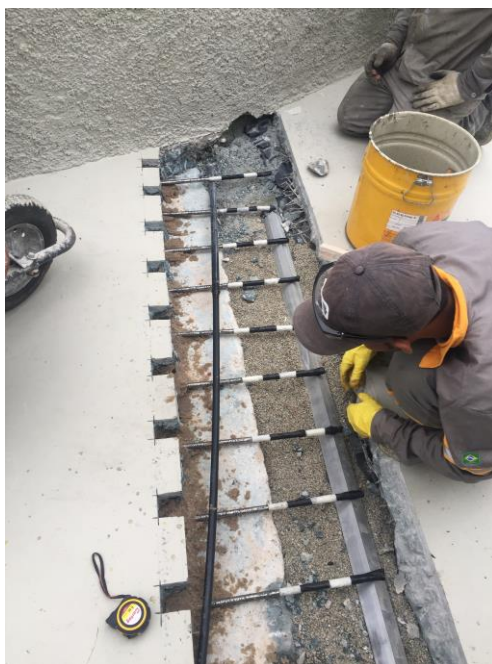


Figura 36: Junta de dilatação com barra de transferência – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

3.4.5 Injeção de poliuretano em arquibancadas

Após a execução de demais etapas de impermeabilização distintas, o cliente tinha como requisito solucionar a problemática de infiltração de água nas arquibancadas do anfiteatro á céu aberto, porém os recursos financeiros não eram suficientes para realizar a impermeabilização conforme projeto descrito em item 3.4.2 impermeabilização de piso, portanto foi estudada uma solução temporária que tem como objetivo evitar a percolação de água na região e por consequência a degradação da estrutura no pavimento inferior.

Nesta etapa foi executado um sistema de injeção de poliuretano, foram executados 3.000 furos com diâmetro de 14 mm em ângulo de 45° em todos os degraus da arquibancada, os furos foram distanciados aproximadamente 25 cm uns dos outros, para que fosse possível observar a comunicação do produto entre eles.

A primeira aplicação foi feita com água para que ao injetar o poliuretano que (que é uma resina de poliuretano, de baixa viscosidade, reação rápida e livre de solventes que em reage com a água formando uma espuma flexível e densa com uma fina estrutura celular) houvesse a expansão do material e após o tempo recomendado pelo fabricante.

Foi injetado o gel de poliuretano (que é uma resina de poliuretano para injeção de baixa viscosidade e livre de solventes, em contato com a água forma uma estrutura de células fechadas e impermeáveis, flexível e elástica) que tem como objetivando fechar os poros da espuma e não permitir a passagem de água, após finalização destas etapas foi feito o tamponamento do local com resina epóxi evitando que o produto injetado venha a percolar por fora da junção de forma a garantir que 100% do produto estejam aderidos ao substrato em toda a extensão linear e profundidade. A técnica de injeção nas arquibancadas estão ilustradas nas figuras 36, 37 e 38.

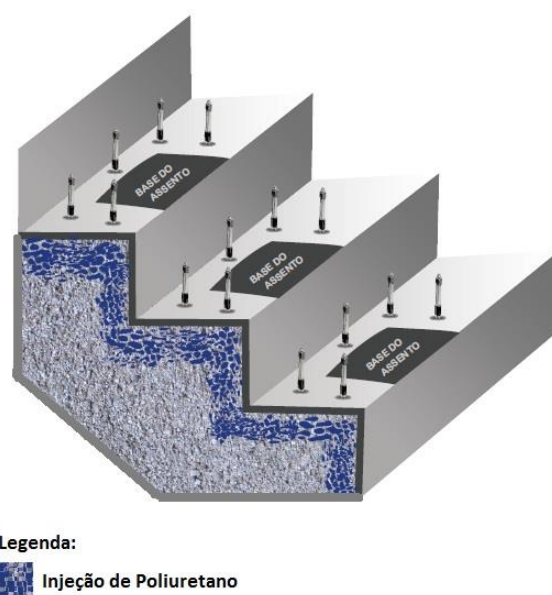


Figura 37: Ilustração de método executivo de injeção de poliuretano em arquibancada A – Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.



Figura 38: Vista da arquibancada com injeção de poliuretano em bicos —
Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.



Figura 39: Vista da arquibancada com posicionamento de bicos injetores —
Fonte: Arquivos de obra do Teatro L Occitane.

Os sistemas de impermeabilização apresentados neste capítulo foram executados na obra, entre os anos de 2015 e 2017.

3.5 PLANO DE MANUTENÇÃO:

Após avaliação da concepção construtiva, escolhas dos materiais empregados na execução da obra, elaboração e aplicação de projeto de impermeabilização se faz necessário à utilização de um plano de manutenção com o objetivo de trabalhar de forma planejada, dentro de um plano orçamentário de curto, médio e longo prazo, conhecendo com antecedência as anomalias que possam surgir e controla-las com aplicação de ações preventivas bem como uso de materiais que retardem a degradação da estrutura, garantindo a estabilidade, funcionalidade e durabilidade da obra.

3.5.1 Manutenção das fachadas

Para manutenção das fachadas em concreto aparente com aplicação de pintura protetiva (impermeabilização de alto desempenho), sugere-se que seja feito um hidrojateamento com pressão controlada e distancia da estrutura de um metro, para que não haja deslocamento do revestimento e sim a remoção das sujidades impregnadas entre a irregularidade da projeção do concreto; Com o objetivo de ganhar maior tempo de durabilidade do sistema aplicado, sugere-se que seja feita uma reaplicação de menor consumo de três em três anos, mantendo a película de pintura protetiva com espessura adequada para os esforços que forem solicitados e cor uniforme das fachadas, evitando a despigmentação natural do revestimento que ocorre com a ação do tempo e incidência de raios UV.

3.5.2 Manutenção da impermeabilização de piso

Para manutenção do piso com revestimento de multi layers (impermeabilização em camadas) sugere-se que seja feito um piso de sacrifício com material que amorteba o impacto direto, evitando assim que ferramentas perfurem a aplicação, bem como o arrasto de equipamentos para montagem de shows e etc. Para limpeza sugere-se a utilização de detergente neutro industrial, que não danifique o acabamento acrílico aplicado sobre o piso, verificar marcas compatíveis com o fabricante de materiais impermeabilizantes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÃO PARA FUTUROS TRABALHOS

Serão apresentados neste capítulo as conclusões e considerações finais alcançadas, assim como uma recomendação de estudo para trabalho futuro surgida a partir dos estudos realizados neste trabalho.

4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foram atingidos os objetivos propostos no início desta pesquisa e pode-se observar que:

- a) a concepção construtiva da estrutura, assim como o tipo de acabamento e a sua geometria arrojada foram determinantes para o surgimento das anomalias de manchas enegrecidas identificadas na fachada da estrutura;
- b) o projeto estrutural que concebeu uma interface entre estrutura metálica e estrutura de concreto sem a devida compatibilização e elaboração de reforços foi determinante para o surgimento de fissuras e o dano no sistema de impermeabilização que não suportou as movimentações existente nestas regiões;
- c) a falha executiva durante a obra que permitiu a instalação de telas metálicas sem o devido transpasse, foi determinante para o surgimento de fissuras na área das arquibancadas e o dano no sistema de impermeabilização que não suportou as movimentações existente nestas regiões;
- d) A elaboração de projeto de impermeabilização com o devido desenvolvimento de anamnese e diagnóstico considerando os registros existentes da construção e condições climáticas local proporcionaram um prognóstico especificando as devidas técnicas de reforço e enrijecimento das juntas de encontro das estruturas, técnicas para a consolidação da

estrutura da arquibancada através de injeções de resina de epóxi e a impermeabilização das fachadas com o uso de hidrofugante;

- e) Ainda que os sistemas de impermeabilização adotados sejam de alto desempenho, estes exigem um elevado grau de técnica e cuidados como o devido preparo das superfícies e uso de equipamentos de controle de umidade para assegurar a sua eficiência.

4.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a obra acompanhada neste estudo de caso especificamente, a solução adotada para a impermeabilização aplicada foi um sistema de membrana de poliuretano. Contudo existem outros sistemas de impermeabilização em membrana, como por exemplo, as membranas de silicone.

Seria de grande contribuição para a área de patologia das construções o desenvolvimento de um estudo comparativo de custo benefício e desempenho entre estes dois sistemas para superfícies em concreto expostas às intempéries.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEDEIROS, Marcelo H. F. ; ANDRADE, J. J. O. ; HELENE, Paulo . **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: Geraldo Isaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011, v. 1, p. 773-808.

HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2º ed. São Paulo: PINI 1992.

ANDRADE, Maria del Carmem. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Tradução e adaptação de Antônio Carmona e Paulo Helene. 1. ed. São Paulo: Pini, 1992.

SILVA JUNIOR J. L. **Avaliação das patologias relacionadas às falhas de execução e de projeto em ambientes industriais**. Coronel Fabriciano, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574 – Execução de impermeabilização**. Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. **Impermeabilização é algo muito antigo**. Disponível em <http://ibibrasil.org.br/2017/10/17/o-que-e-impermeabilizacao/>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA. **Fórum da construção**. Disponível em <http://www.forumdaconstrucao.com.br>.

ARANTES, Y.K. Uma visão geral sobre impermeabilização na construção civil. 2007. 67f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SOARES, F.F. A importância do projeto de impermeabilização em obras da construção civil. 2014. 120f. Monografia (Graduação no curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

GEOVANI, V.R. Estudo dos sistemas de impermeabilização: Patologia, Prevenções e Correções – Análise de casos. 2009. 94f. Dissertação de Mestrado (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

SIKA S.A – Disponível www.sika.com.br acessado em 19 / 12 / 2.017.

DENVER IMPERMEABILIZANTES – Disponível www.denverimper.com.br acessado em 21 / 12 / 2.017.

QUARTZOLIT WEBER – Disponível www.quartzolit.weber acessado em 21 / 12 / 2.017.