

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DE AGENTES COMPATIBILIZANTES NA ADERÊNCIA
ENTRE MATRIZES CIMENTÍCIAS E SUBSTRATOS SATURADOS
COM MASSA ASFÁLTICA**

GUILHERME SANTANA GANÇAS

SÃO PAULO

2022

**INFLUÊNCIA DE AGENTES COMPATIBILIZANTES NA ADERÊNCIA
ENTRE MATRIZES CIMENTÍCIAS E SUBSTRATOS SATURADOS
COM MASSA ASFÁLTICA**

GUILHERME SANTANA GANÇAS

Dissertação Submetida ao Programa de Mestrado
Profissional em Engenharia Civil da Universidade
São Judas Tadeu, como Requisito Parcial para
Obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Mostafa Galal Abdelfattah Mohamed Aboelkheir

SÃO PAULO

2022

**INFLUÊNCIA DE AGENTES COMPATIBILIZANTES NA ADERÊNCIA
ENTRE MATRIZES CIMENTÍCIAS E SUBSTRATOS SATURADOS
COM MASSA ASFÁLTICA**

GUILHERME SANTANA GANÇAS

Dissertação Submetida ao Programa de Mestrado
Profissional em Engenharia Civil da Universidade
São Judas Tadeu, como Requisito Parcial para
Obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

APROVADO EM: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mostafa Galal Abdelfattah Mohamed Aboelkheir
Universidade São Judas Tadeu

Prof. Dr. Renan Pícolo Salvador
Universidade São Judas Tadeu

Prof. Dr. Holger Schmidt
Product Manager at MC-Bauchemie

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha esposa Larissa Fernandes Nogueira Ganças por ter me acompanhado e incentivado nesses momentos de transições e das eventuais dificuldades que enfrentamos.

Dedico aos meus familiares que sempre me incentivaram a me aprimorar cada dia mais.

Dedico a todos meus amigos que sempre me auxiliaram e incentivaram a trilhar novos caminhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois me sustento no dogma da fé e vivo a dádiva da vida criada pelo Senhor.

Ao Professor Mostafa, por abdicar seu precioso tempo nos ensinando requisitos profissionais para levarmos na vida, pelo tempo abdicado em orientar, apoiar, exigir, principalmente nos momentos difíceis que passou, sempre nos ensinou a superar em prol de um bem maior.

A equipe técnica dos laboratórios da Universidade São Judas que auxiliaram na preparação dos materiais, no fornecimento das ferramentas e na orientaram nos procedimentos técnicos de ensaios, tornando o fluxo do desenvolvimento de estudo laboratorial mais leve.

A minha esposa, Larissa Fernandes Nogueira Ganças, por abdicar de seu precioso tempo de estudos à Medicina, para me ajudar a revisar esta dissertação.

Aos familiares que sempre estiveram ao meu lado, principalmente meus pais, Maria de Jesus de Santana Ganças e Celio Ganças, que são a base do que já fui e do que me tornarei.

Ao meu irmão, Danilo Santana Ganças, que sempre me apoiou e incentivou a buscar o que desejamos, com luta, força e determinação.

Aos amigos da CTI Impermeabilizações e da Casa Leste Materiais de Construção e Impermeabilizantes que sempre me incentivaram a buscar novos conhecimentos e a lapidar os já conquistados.

Aos meus amigos que também me impulsionam às novas conquistas.

“É preciso que você se torne a mudança que deseja ver no mundo.”

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

A manutenção em elementos construtivos é uma ação necessária de intervenção; preventiva e corretiva, que interfere diretamente na durabilidade, vida útil de desempenho. O mesmo vale para os reservatórios de água, onde o sistema de impermeabilização torne-o estanque, garantindo a potabilidade da água armazenada, situação essencial para habitabilidade de um empreendimento. Este trabalho visa determinar o melhor método de criação de pontes de aderência entre o substrato padronizado coberto com massa asfáltica e os compósitos cimentícios aditivados com compatibilizantes de Vinílico, SBR, Acrílico e Epóxi para posterior impermeabilização com impermeabilizantes cimentícios, reduzindo a recorrência de deslocamentos dos impermeabilizantes e custos elevados em manutenções. Os resultados mostram que a aderência da massa asfáltica sobre o substrato, exigida pela norma de 0,2 MPa, foi atendida por todas as placas. Todas as misturas apresentaram um aumento na aderência do material cimentício sobre a massa asfáltica, quando a concentração do aditivo é aumentada. Apenas as placas E (Vinílico-0,50), G (SBR-0,50), H (Acrílico-0,25) e I (Acrílico-0,50) apresentaram médias de resistências maiores que 0,50 MPa, atendendo assim a exigência mínima da norma vigente, e ainda maiores que a placa REF em 36%, 16%, 22% e 56%, respectivamente. Após a imersão e novo teste de resistência de tração na aderência, apenas a placa I (Acrílico-0,50) apresentou 38% de resistência superior ao exigido por norma. Portanto, a influência no desempenho na aderência do compósito sobre a massa asfáltica está diretamente ligada ao tipo do agente compatibilizante, bem como a sua concentração, destacando-se o Acrílico-0,50. Este trabalho atua na revisão técnica de procedimento executivo, bem como abrange os itens 6, 9 e 12 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da agenda 2030. Dessa forma, esta pesquisa pode contribuir em encontrar soluções mais eficazes para falhas baseadas em incompatibilidade química nos sistemas de impermeabilização em reservatórios de água potável. Consequentemente, oferece maior vida útil do sistema e uma frequência ainda menor do ciclo de manutenção.

Palavras-chave: impermeabilização, reservatório, potabilidade, resistência à tração na aderência, compatibilidade química.

ABSTRACT

Maintenance of constructive elements is a necessary intervention action; preventive and corrective, which directly interferes with durability, useful life and performance. The same goes for water reservoirs, where the waterproofing system makes them watertight, guaranteeing the potability of the stored water, an essential situation for the habitability of an enterprise. This work aims to determine the best method of creating adhesion bridges between the standardized substrate covered with asphalt mat and the cementitious composites modified by Vinyl, SBR, Acrylic and Epoxy compatibilizers for subsequent waterproofing with cementitious waterproofing agents, reducing the detaching of the waterproofing system and high maintenance costs. The results highlight that the adhesion of the asphalt mass on the substrate, required to be at least 0.2 MPa per standard, was met by all the waterproofing plates. All mixtures presented an increase in the adherence of the cementitious material on the asphalt mat by increasing the concentration of the compatibilizer. Only plates E (Vinyl-0.50), G (SBR-0.50), H (Acrylic-0.25) and I (Acrylic-0.50) showed resistance averages greater than 0.50 MPa, meeting thus the minimum requirement of the standard, and even higher than the REF plate by 36%, 16%, 22% and 56%, respectively. After immersion and a new test of tensile strength in adhesion, only plate I (Acrylic-0.50) showed 38% greater resistance than required by standard. Therefore, the influence on the performance of the adhesion of the composite on the asphalt mass is directly linked to the type of compatibilizing agent, as well as its concentration, highlighting Acrylic-0.50. This work acts in the technical review of the executive procedure, as well as covers items 6, 9 and 12 of the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 agenda. In this way, this research may contribute to finding more effective solutions for chemical incompatibility-based failures in waterproofing systems in drinking water reservoirs. Consequently, offers a longer service life for the system and an even lower frequency of the maintenance cycle.

Keywords: waterproofing, reservoir, potability, tensile strength in adhesion, chemical compatibility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vida Útil de Projeto Mínima, Intermediária e Superior	23
Tabela 2 - Principais mecanismos de deterioração de elementos estruturais	26
Tabela 3 - Exemplos de VUP aplicados a Sistemas/Elementos Construtivos.....	32
Tabela 4 - Projeto - Fator de Correção A1	37
Tabela 5 - Projeto - Fator de Correção A2	38
Tabela 6 - Projeto - Fator de Correção A3	38
Tabela 7 - Qualidade - Fator de Correção B1.....	40
Tabela 8 - Qualidade - Fator de Correção B2.....	40
Tabela 9 - Fiscalização - Fator de Correção C1	41
Tabela 10 - Fiscalização - Fator de Correção C2	42
Tabela 11 - Proteção Mecânica e Intempéries - Fator de Correção D1.....	43
Tabela 12 - Proteção Mecânica e Intempéries - Fator de Correção D2.....	44
Tabela 13 - Proteção Mecânica e Intempéries - Fator de Correção D3.....	44
Tabela 14 - Manutenção e Vistoria - Fator de Correção E1	45
Tabela 15 - Condição de Exposição - Fator de Correção F1.....	46
Tabela 16 - Composição de dados do fator de correção da VUR.....	48
Tabela 17 - Profissionais entrevistados pela plataforma Google Forms	64
Tabela 18 - Região dos profissionais que participaram da pesquisa	65
Tabela 19 - Ficha Técnica do DENVERGROUT	69
Tabela 20 - Controle das placas e aplicação dos produtos	76
Tabela 21 - Resistência à tração na aderência para as placas com agentes compatibilizantes sem imersão.	81
Tabela 22 - Resistência à tração na aderência para as placas com agentes compatibilizantes sem imersão.	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desempenho de um elemento construtivo ao longo do tempo	23
Figura 2 - Lei dos Cincos ou Regra de Sitter	25
Figura 3 - Modelo de empreendimento	28
Figura 4 - Agentes deletérios atuantes sobre elementos construtivos internos	29
Figura 5 - Ciclo de Qualidade dos procedimentos de execução dos sistemas de impermeabilização.....	31
Figura 6 - Elementos construtivos destacados do empreendimento modelo.....	34
Figura 7 - Organograma da metodologia de determinação da vida útil de elementos construtivos	35
Figura 8 - Fatores de correções da vida útil de referência dos sistemas de impermeabilizações	36
Figura 9 - FATOR A - Projeto	37
Figura 10 - FATOR B - Qualidade.....	39
Figura 11 - FATOR C - Fiscalização.....	41
Figura 12 - FATOR D - Proteção Mecânica e Intempéries	43
Figura 13 - FATOR E - Manutenção e Vistoria	45
Figura 14 - FATOR F – Condição de exposição	46
Figura 15 - Análise da aplicação dos fatores de correção sobre VUR	47
Figura 16 - Sistema construtivo sob pressão negativa.....	50
Figura 17 - Sistema construtivo sob pressão positiva.....	50
Figura 18 - Sistema construtivo sob pressão bilateral	50
Figura 19 - Reservatório de água potável impermeabilizado com manta asfáltica	51
Figura 20 - Procedimento de retirada do sistema asfáltico para a aplicação de um sistema cimentício.	52
Figura 21 - Reservatório de água potável com a revitalização do sistema de impermeabilização asfáltica para a impermeabilização cimentícia.	53

Figura 22 - Detalhes do novo sistema de impermeabilização apresentando deslocamento proveniente da falha na aderência.	54
Figura 23 - Substrato com massa asfáltica aderida no substrato (setas vermelhas), sem aderência do impermeabilizante cimentício.....	54
Figura 24 - Impermeabilizante cimentício deslocado do substrato, onde apresentou apenas aderência física a massa asfáltica, observada pela moldagem do impermeabilizante cimentício sobre a massa asfáltica.....	55
Figura 25 - Vista em detalhes do impermeabilizante cimentício deslocado do substrato, onde apresentou apenas aderência física a massa asfáltica, observada pela moldagem do impermeabilizante cimentício sobre a massa asfáltica.	55
Figura 26 - Reservatório de água potável em pleno funcionamento apresentando água escura e dissolução de líquido preto escorrendo sobre a impermeabilização em manta asfáltica.....	57
Figura 27 - Vista em detalhe do sistema de impermeabilização em manta asfáltica do reservatório de águas potáveis, contendo água escura (seta azul) e manchas escorridas pretas sobre o sistema (seta vermelha).....	57
Figura 28- Análise da aplicação dos fatores de correção sobre VUR de sistemas de reservatórios	58
Figura 29 - Representação das camadas durante o processo de revitalização do sistema de impermeabilização de reservatórios	61
Figura 30 - Determinação do ângulo de contato.....	62
Figura 31 - Nível dos profissionais que responderam ao questionário via plataforma Google Forms	64
Figura 32 - Mapeamento dos profissionais que participaram da pesquisa	65
Figura 33 - Quantidade de intervenções em reservatórios	66
Figura 34- Reservatórios com manifestações de vazamentos que necessitam de intervenção	67
Figura 35 - Métodos utilizados para a revitalização do sistema de impermeabilização dos reservatórios.....	68
Figura 36 - Organograma da execução da placa padronizada	71
Figura 37 - Forma da placa padronizada (mm)	71

Figura 38 - Tela metálica soldada para armação da placa padronizada (mm)	72
Figura 39 - Lançamento do microconcreto estrutural sobre a forma e armaduras.....	73
Figura 40 - Procedimento de processo de preparo do substrato padrão.	73
Figura 41 - Aplicação da emulsão asfáltica sobre a placa padronizada	74
Figura 42 - Procedimento de execução da barra de asfalto.	75
Figura 43 - Ponte de aderência aplicado sobre a massa asfáltica.	76
Figura 44 - Processo de aplicação do impermeabilizante.....	77
Figura 45 - Ensaio de resistência de tração na aderência: Procedimento de encaixe e Leitura do manômetro digital após o rompimento.....	78
Figura 46 - Camadas testadas no ensaio da resistência de tração na aderência.....	79
Figura 47 - Analisador de forma de gota Krüss modelo DSA 100.....	80
Figura 48 - Análise das camadas com ângulo de contato.....	80
Figura 49 – Influência da adição de epóxi na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.....	82
Figura 50 - Influência da adição de Copolímero Vinílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.....	83
Figura 51 - Influência da adição de SBR na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.....	84
Figura 52 - Influência da adição de acrílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.....	85
Figura 53 - Influência da adição de diversos agentes compatibilizantes na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.....	86
Figura 54 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; EPÓXI 1 e EPÓXI 2	87
Figura 55 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; VINILICO 0,25 e VINILICO 0,50.	88
Figura 56 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; SBR 0,25 e SBR 0,50.	89
Figura 57 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; ACRÍLICO 0,25 e ACRÍLICO 0,50.	90

Figura 58 – Influência da adição de epóxi na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.....	91
Figura 59 - Influência da adição de copolímero vinílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.	92
Figura 60 - Influência da adição de SBR na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.....	93
Figura 61 - Influência da adição de acrílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.....	94
Figura 62 - Influência da adição de diversos agentes compatibilizantes na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.	95
Figura 63 - Análise comparativa do Epóxi com e sem imersão.	96
Figura 64 - Análise comparativa do Copolímero Vinílico com e sem imersão.	97
Figura 65 - Análise comparativa do aditivo SBR com e sem imersão.	98
Figura 66 - Análise comparativa do aditivo Acrílico com e sem imersão.	99
Figura 67 - Análise do ângulo de contato - a) ponte de aderência com agente compatibilizante curado (12°); b) massa asfáltica (90°); e c) massa asfáltica com emulsão asfáltica (60°).	100
Figura 68 - Análise do ângulo de contato dos agentes compatibilizantes - a) copolímero Vinílico (50°); b) SBR (53°); e c) acrílico (60°).	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problematização	15
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivos	20
1.3.1	Objetivo geral	20
1.3.2	Objetivos específicos	20
1.4	Hipótese	21
1.5	Estrutura do trabalho	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Análise dos sistemas construtivos	22
2.2	Degradação dos elementos de concreto armado	27
2.3	Estanqueidade	29
2.3.1	Determinação da VUR do sistema de impermeabilização	35
2.3.2	Reservatórios	49
2.3.3	A ação dos agentes compatibilizantes	59
2.3.4	Determinação da polaridade por medição do ângulo de contato	62
3	MATERIAIS E MÉTODOS	64
3.1	Pesquisa de Mercado	64
3.2	Materiais	68
3.2.1	Equipamentos utilizados	69
3.3	Metodologia do trabalho	70
3.3.1	Preparo do Substrato	70
3.3.2	Aplicação da emulsão asfáltica	74
3.3.3	Aplicação da massa asfáltica	74
3.3.4	Produtos testados como agentes compatibilizantes	75

3.3.5	Ensaio de resistência de tração na aderência	77
3.3.6	Análise das camadas na ruptura.....	78
3.3.7	Ângulo de contato.....	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1	Resistência à tração na aderência sem imersão.....	81
4.2	Análise das camadas na ruptura.....	86
4.3	Resistência à tração na aderência após imersão.....	90
4.4	Análise do comportamento das placas sem imersão e após imersão	95
4.5	Análise dos materiais por ângulo de contato	99
5	CONCLUSÕES.....	102
6	TRABALHOS FUTUROS.....	103
7	ATIVIDADES ACADÊMICAS PRODUZIDAS DURANTE O MESTRADO	103
7.1	Apresentação em Congresso	103
7.2	Resumos.....	103
7.3	Publicação de artigo.....	104
8	REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problematização

A demanda produtiva de serviços de reabilitações de funcionalidades de elementos construtivos, bem como assuntos correlacionados de diagnóstico e terapia das estruturas vêm aumentando com o decorrer do tempo, devido às manifestações de diversas patologias, muitas decorrentes da falta e/ou falha nas manutenções periódicas (BAUER; LIMA, 2019).

As edificações sofrem ações deletérias por meio microclima e macroclimas, influenciando diretamente na durabilidade e desempenho dos elementos construtivos (LIMA, 2011; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; ABNT, 2014; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; ALMEIDA; SALES, 2018). Além disso as degradações destes elementos são decorrentes de ações físico-químicas da interação dos materiais e ambientes inseridos (FUSCO, 2008, p. 45 e 46; BERTOLINI, 2010; ABNT, 2014; KONEČNÝ; LEHNER, 2016).

A durabilidade e o desempenho de elementos construtivos estão diretamente interligados no processo de elaboração de projetos, processo executivo e a manutenção dos mesmos para garantir funcionalidade e estabilidade, conforme estabelecido nas diretrizes da NBR 15575 e NBR 5674 (ABNT, 2013; ABNT, 2012; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; PEREIRA, 2011). Os custos variam conforme a etapa de análise, aumentando a previsibilidade dos custos exponencialmente em possíveis correções, conforme a lei dos cinco ou regra de Sitter (GRULLÓN PEÑA; HELENE, 2005; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; SANTOS, 2018).

Os elementos construtivos estão sujeitos a desgastes naturais do uso e manifestações patológicas de origem endógenas¹, comprometendo o correto desempenho dos sistemas construtivos. Contudo, os elementos e sistemas devem sofrer manutenções preventivas e corretivas periódicas estabelecidas pelo construtor no Manual de Uso e Operação e conforme orientado pela NBR 16747 e NBR 5674 (ABNT, 2012; ABNT, 2020).

¹ Endógenas: “*endógena ou construtiva: quando perda de desempenho decorre das etapas de projeto e/ou execução*”, conforme NBR 16747 - item 5.3.5, a) (ABNT, 2020, p. 8).

As gestões condominiais devem requerer a elaboração de um Plano de Manutenção² por um profissional habilitado³ e o acompanhamento das funcionalidades dos sistemas e elementos construtivos pela ferramenta de Inspeção Predial⁴, que tem como objetivo verificar as condições de funcionalidade de Segurança; Habitabilidade; e Sustentabilidade, conforme exigido pela NBR 16747 (ABNT, 2020).

Existem diversas edificações erigidas que devem passar por intervenções e demonstram claramente a ausência das manutenções periódicas. Nestes casos, a gestão condominial deve contratar empresa especializada e profissional habilitado para a execução das intervenções de revitalização de sistemas (RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016).

Segundo Lima (2011), a água é o principal agente deletério dos elementos construtivos e possui a capacidade de dissolver compósitos de matriz cimentícia acarretando o processo de degradação, como a lixiviação, aumentando a porosidade e permitindo a entrada de agentes deletérios. Garantir a característica de impermeabilidade se faz necessário e fundamental para um bom desempenho dos elementos, bem como a estanqueidade para os ambientes internos é primordial (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; KONEČNÝ; LEHNER, 2016), pois a NBR 16747 e a NBR 15575-1 (ABNT, 2013; ABNT, 2020) determinam que a estanqueidade está diretamente interligada a condições de habitabilidade⁵.

Para que os usuários de um empreendimento tenham condições de habitabilidade, torna-se necessário que os reservatórios de armazenamento de água potável estejam estanques tanto por pressão positiva⁶, bem como negativa⁷, ou seja, a água armazenada não pode sair e líquidos

² Plano de Manutenção: “*programa para determinação das atividades essenciais de manutenção, sua periodicidade, responsáveis pela execução, documentos de referência e recursos necessários, todos referidos individualmente aos sistemas e, quando aplicável, aos elementos, componentes e equipamentos, conforme NBR 5674*”, conforme NBR 16747 - item 3.21. (ABNT, 2020, p. 4)

³ Profissional Habilitado: “*profissional com formação nas áreas de conhecimento da engenharia ou arquitetura e urbanismo, com registro no respectivo conselho de classe, e consideradas suas atribuições profissionais*”, conforme NBR 16747 - item 3.20. (ABNT, 2020, p. 4)

⁴ Inspeção Predial: “*processo de avaliação das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade da edificação e de seus sistemas e subsistemas construtivos, de forma sistêmica e predominantemente sensorial (na data da vistoria), considerando os requisitos dos usuários*”, conforme NBR 16747 - item 3.13. (ABNT, 2020, p. 3)

⁵ “*As exigências do usuário relativas à habitabilidade são expressas pelos seguintes fatores: estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico.*” conforme NBR 15575-1 - item 4.3. (ABNT, 2013, p. 11)

⁶ “*água sob pressão positiva: água, confinada ou não, que exerce pressão hidrostática superior a 1 kPa (0,1 m.c.a), de forma direta à impermeabilização*” conforme NBR 9575 - item 3.6. (ABNT, 2010, p. 2)

⁷ “*água sob pressão negativa: água, confinada ou não, que exerce pressão hidrostática superior a 1 kPa (0,1 m.c.a), de forma inversa à impermeabilização.*” conforme NBR 9575 - item 3.5. (ABNT, 2010, p. 1)

externos não podem entrar, cumprindo as prerrogativas exigidas pela NBR 9575 e da NBR 9574 (ABNT, 2008; ABNT, 2010), e a verificação/análise dos parâmetros de potabilidade exigidos item 3.3 - Tabela 01 da NBR 12170 (ABNT, 2017, p. 17).

Como procedimento de manutenção, a gestão condominial deve contratar uma empresa especializada e habilitada para a limpeza e higienização dos reservatórios, com uma periodicidade semestral, conforme orientado pela NBR 5674 (ABNT, 2012). Durante os serviços, a empresa contratada, constatando manifestações patológicas no sistema de impermeabilização, deve informar a gestão condominial deve intervir com a cotação e posterior contratação de empresas habilitadas para a revitalização do sistema de impermeabilização, como medida para manutenção conforme previsto na NBR 5674.

A empresa contratada para a execução da revitalização do sistema impermeabilizante em um reservatório se depara, frequentemente, com reservatórios com sistemas de impermeabilização com manta asfáltica, procedimento corriqueiramente comum em tempos passados, mas que deve ser removida para a execução de um novo sistema de impermeabilização.

As mantas asfálticas são totalmente impermeáveis à água no estado líquido e gasoso, como determinado pela NBR 9952, possuem flexibilidade para acompanhamento de grandes deformações, bem como possuem resistências elevadas à tração longitudinal, variando entre os tipos I até o IV, com resistências de 80N à 550N (ABNT, 2014).

As empresas objetivadas a sanar as infiltrações em reservatórios com problemas estruturais, aproveitam as características mecânicas em funcionamento das mantas asfálticas, estabelecidas pela NBR 9952, juntamente com a mão de obra para a execução dos serviços para “mascarar” problemas estruturais em reservatórios, devido à grandes movimentações, pois o alto alongamento e flexibilidade das mantas acompanham as estruturas (ABNT, 2014; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016).

Ao entrar em processo de revitalização do sistema de impermeabilização de um reservatório, se faz necessário a demolição do antigo sistema de impermeabilização, ou seja, neste caso com a retirada da manta asfáltica, constatando-se a existência de água sob a manta, evidenciando a falha de estanqueidade.

Posterior a retirada do sistema de impermeabilização em manta asfáltica, se torna possível evidenciar que os substratos estão saturados com emulsão asfáltica⁸ e detritos de massa

⁸ Emulsão asfáltica: “produto resultante da dispersão de asfalto em água, através de agentes emulsificantes” conforme NBR 9575 - item 3.34. (ABNT, 2008, p. 4)

asfáltica que apresentam alta aderência ao substrato, sendo que em alguns casos a água circulando com tonalidade escura, inclusive em reservatórios enterrados.

A utilização de sistemas impermeabilizantes em reservatórios enterrados que não possuem características de impermeabilidade contra pressões negativas contrariam o especificado na NBR 9574, NBR 9575 e o guia orientativo do Instituto Brasileiro de Impermeabilização (ABNT, 2008; ABNT, 2010; “IBI”, 2018a).

Diversos fabricantes garantem a não alteração de potabilidade da água em reservatórios elevados com sistemas de impermeabilização com manta asfáltica, mas para a execução deste serviço expõe os profissionais ao elevado risco, pois as dimensões de reservatórios dificultam a aderência do produto (reservatório altos ou muito baixos), utilização de maçarico e gás GLP, conforme orientado pela NBR 9574 (ABNT, 2008), mas nesta situação aplicam-se intervenções descritas na norma regulamentadora número 33, onde determina serviços em espaço confinado, burocratizando a execução dos serviços devido aos riscos de saúde que o prestador estará sujeito (ALMEIDA, 2018; NR-33, 2019).

Para a substituição do antigo sistema para outro moldado *in loco* de matriz cimentícia, como por exemplo argamassa polimérica⁹ ou membrana de polímero acrílico com cimento, será necessária a retirada de toda massa asfáltica e emulsão asfáltica que está saturada/aderida ao substrato, para que a impermeabilização com impermeabilizante de matriz cimentícia tenha aderência física e química.

Caso não ocorra o desbaste do substrato para a retirada total da emulsão asfáltica e da massa asfáltica, o impermeabilizante terá baixa aderência química e física, devido a polaridade dos materiais e a baixa porosidade, não atendendo a exigência de aderência necessária conforme a NBR 11905 e NBR 15885 (ABNT, 2010; ABNT, 2015) que determinam 0,50 MPa de resistência a tração, com parâmetros do testes baseados na NBR 12171 (ABNT, 1992).

Para a aplicação do sistema cimentício, a NBR 9574 exige que para a aplicação do impermeabilizante, o substrato deve estar “isento de desmoldantes ou impregnastes”, sendo assim, impossibilitado a aplicação de um impermeabilizante cimentício sobre o substrato saturado de emulsão asfáltica e/ou massa asfáltica (ABNT, 2008), tornando necessário a aplicação da ponte de aderência com a atuação do agente compatibilizante.

⁹ Argamassa polimérica: “tipo de impermeabilização industrializada, aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes” conforme NBR 9575 - item 3.10. (ABNT, 2010, p. 2)

Para a retirada da massa e emulsão asfáltica, impregnados no substrato, com equipamentos eletromecânicos inviabiliza a execução, pois se torna prejudicial com a formação de névoa de poeira dentro de um espaço confinado.

A incompatibilidade química entre o produto asfáltico, que é apolar, com um compósito cimentício, que é polar, justificam a falha de aderência entre os materiais, mas a análise de uma ponte de aderência para ancoragem com compósito cimentício aditivado com agentes compatibilizantes¹⁰ determina a melhor interface em produtos quimicamente distintos (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009; LUNA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2019b).

Esta dissertação visa determinar a melhor interface com compósito cimentício aditivado com material compatibilizante entre a aplicação de um impermeabilizante de matriz cimentícia com um substrato saturado com massa asfáltica.

¹⁰ Agente Compatibilizante: Aditivo atuante em interfaces de produtos distintos quimicamente (polar e apolar), reduzindo tensão superficial e melhorando a dispersão dos materiais (LUNA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2019b).

1.2 Justificativa

As edificações necessitam das intervenções com a execução das manutenções, garantindo assim funcionalidade dos sistemas construtivos e habitabilidade. Em contrapartida a manutenção dos reservatórios se torna essencial frente a saúde dos usuários, onde deve ser mantida a estanqueidade e potabilidade da água armazenada.

Diante da demanda da manutenção do processo de revitalização do sistema de impermeabilização em reservatórios, sendo que o cenário que se constata são de antigos sistemas com manta asfáltica com necessidades de reparo; manutenções, onde serão substituídos por impermeabilizantes cimentícios, como Argamassa Polimérica (ABNT, 2015); e Membrana de polímero Acrílico com Cimento (ABNT, 2010).

No processo da revitalização dos reservatórios, no qual o substrato saturado com emulsão asfáltica e massa asfáltica se tornam quimicamente não compatíveis ao impermeabilizante de matriz cimentícia, a análise de desempenho se determina pela aderência de um compósito cimentício aditivado com compatibilizantes sobre um substrato saturado pela massa asfáltica, considerando o extremo do problema, demonstrando se o novo substrato criado proporcionará resistência exigida pelas normas NBR 15885 e NBR 11.905 (ABNT, 2010; ABNT, 2015), bem como se o novo impermeabilizante terá um substrato poroso e coeso, conforme determinação das normas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Determinar o melhor método de criação de pontes de aderência entre o substrato padronizado coberto com massa asfáltica e o compósito cimentício aditivado com diversos tipos de compatibilizantes, para posterior impermeabilização com produtos de matriz cimentícia.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Estudar a influência do tipo e da concentração dos agentes compatibilizantes na aderência entre um substrato coberto com massa asfáltica e o compósito cimentício impermeabilizado pela resistência à tração na aderência.
2. Analisar os modos da ruptura das placas e destacar as camadas onde a ruptura acontece.
3. Investigar a influência do contato com a água sobre a ação dos agentes compatibilizantes na criação de pontes da aderência.

4. Demonstrar a influência da temperatura elevada sobre a ação dos agentes compatibilizantes na criação de pontes da aderência.
5. Analisar a polaridade das camadas formadas por todos os materiais através do método de ângulo de contato.

1.4 Hipótese

A aderência do compósito cimentício sobre um substrato padronizado coberto por massa asfáltica só será possível, em questão de durabilidade, quando for aditivado com material base compatibilizante, pois possui características compatibilizantes, ou seja, apresenta características que promovem aderência sobre materiais quimicamente polares e apolares.

1.5 Estrutura do trabalho

A presente dissertação está dividida nas seguintes partes:

Parte 01: Introdução. Neste item será elaborada uma breve contextualização temática, com demonstrativo âmbito exploratório da pesquisa, norteada pela justificativa, objetivos e hipótese;

Parte 02: Revisão bibliográfica. Neste item serão abordados os parâmetros de análise do sistema de impermeabilização, visão de mercado, características químicas, físicas, comportamentais e funcionais dos materiais;

Parte 03: Materiais e Métodos. Neste item serão determinados os materiais e métodos para parametrizar a análise dos ensaios;

Parte 04: Resultados e Discussões. Realização dos ensaios parametrizados e análise dos resultados; e

Parte 05: Conclusões. Nesta parte final da dissertação, são tecidas as conclusões embasadas resultados obtidos, bem como a recomendação de continuidade dos estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Análise dos sistemas construtivos

Grande parte dos componentes dos sistemas construtivos são compostos por compósitos cimentícios, inclusive o concreto, que segundo Helene (1993), Souza (2014), Konečný; Lehner, (2016) e Scrivener, John e Gartner, (2018) é o segundo material mais utilizado no mundo, perdendo apenas pela água. O concreto possui características mecânicas e de modelagem que podem garantir durabilidade e estabilidade de edificações e elementos construtivos (HELENE, 1993; SOUZA, 2014; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018).

A durabilidade de um sistema construtivo, principalmente a estrutura de concreto, está diretamente interligada ao processo de elaboração de projetos, processo executivo e o planejamento manutenível, situações que refletem a prevenção da ação dos agentes deletérios presentes no ambiente onde a construção estará inserida ou condições de uso que proporcione a ação de agentes deletérios específicos (LINCHTENSTEIN, 1986; HELENE, 1993; MELHADO; AGOPYAN, 1995; LIMA, 2011; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; TOFANETTO et al., 2018; SANTOS, 2018; BAUER; LIMA, 2019).

As estruturas de concreto armado devem atender aos pré-requisitos estabelecidos nas normas e leis vigentes, durante a elaboração dos projetos, bem como as boas práticas determinadas por artigos, teses e dissertações, de modo a prevenir a manifestação de anomalias nos elementos de concreto armado (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; ABNT, 2014; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; STORTE; STORTE, 2018).

As estruturas projetadas no Brasil devem possuir uma VUP (Vida Útil de Projeto) mínima de 50 anos, que será classificada como referência de desempenho mínimo, conforme Tabela 1, bem como pode ser projetada com desempenho mínimo, intermediário ou superior, de modo que se preveja a resistência dos elementos e sistemas às ações deletérias dos agentes atuantes (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; ABNT, 2013; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Tabela 1 - Vida Útil de Projeto Mínima, Intermediária e Superior

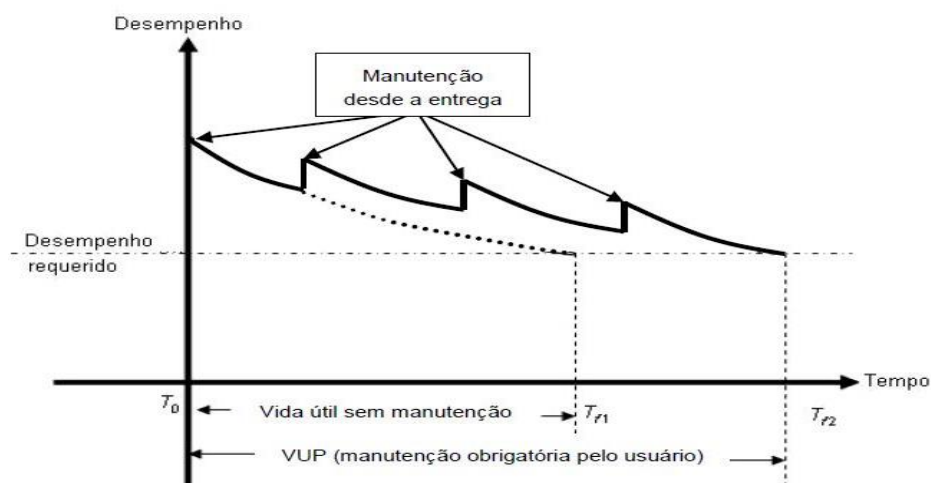
SISTEMA CONSTRUTIVO	VUP (Anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
	≥	≥	≥
Estrutura	50	63	75
Pisos Internos	13	17	20
Vedação Vertical Externa	40	50	60
Vedação Vertical Interna	20	25	30
Cobertura	20	25	30
Hidrossanitário	20	25	30

Fonte: Adaptado (ABNT, 2013; RIBEIRO; CASCUDO, 2018)

Mas para que um sistema construtivo consiga atingir uma vida útil de projeto e ultrapassar a projeção estimada, se faz necessário, bem como obrigatório seguir as orientações fornecida pela norma de manutenções e pelo manual de uso e operação fornecido pela Incorporadora e Construtora, para orientar como manter os sistemas construtivos em pleno funcionamento, estáveis e com características próximas às originais (ABNT, 2011; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; ABNT, 2012; ABNT, 2013; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

A Figura 1 demonstra a projeção da vida útil do sistema (ABNT, 2013), a qual o eixo da coordenada demonstra o nível de desempenho e o eixo da abcissa determina o tempo da intervenção e projeção da vida útil, sendo que na coordenada inicial, em projeção em t_0 , expressa um sistema novo.

Figura 1 - Desempenho de um elemento construtivo ao longo do tempo



Fonte: (ABNT, 2013; BERNHOEFT, 2018a)

O ponto inicial está em pleno funcionamento e em perfeitas condições, contudo; já na projeção t1 demonstra a vida útil de um sistema construtivo sem a execução das manutenções previstas e necessárias, apresentando diversas anomalias e falha de funcionalidade (desempenho); já a projeção t2 expressa a longevidade da funcionalidade do elemento/sistema construtivo com as execuções das manutenções periódicas, onde há varias retomadas de desempenho.

A Figura 1 expressa informações de revitalização do desempenho durante a vida útil, conforme se executam as manutenções previstas e necessárias, prolongando vida útil pelo tempo transcorrido (PEREIRA, 2011; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; FERREIRA et al., 2021). Utilizando o exemplo da Figura 1, quando o desempenho atinge o desempenho requerido em t1, para que o sistema construtivo retorne para um desempenho funcional, necessita-se de uma intervenção corretiva ou manutenção preventiva, onerando a gestão administrativa do empreendimento ou responsável do imóvel, conforme determinado pela lei dos 5 ou lei de Sitter (MELHADO; AGOPYAN, 1995; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; SOUZA, 2014; RIBEIRO; CASCUDO, 2018)

A primeira linha de desempenho demonstrada pela Figura 1 demonstra o primeiro ciclo de uso do elemento ou sistema construtivo, já a projeção da linha pontilhada, em continuidade ao primeiro ciclo, chegando ao ponto de referência “Desempenho requerido”, expressa que no primeiro ciclo de funcionamento, a gestão condominial negligenciou a manutenção até que o elemento construtivo apresentasse falhas, tornando assim muito mais oneroso a retomadas de desempenho devido à alta intervenção a ser realizada.

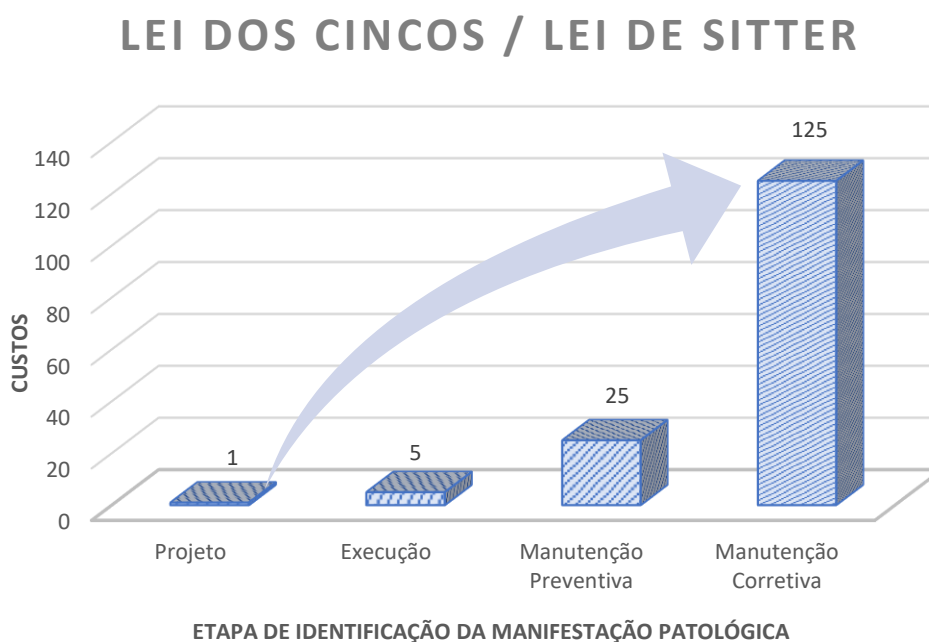
A manutenibilidade (facilidade na execução das manutenções) influencia diretamente nos custos para a equipe de gestão mantedora do bem ou sistema construtivo, bem com os custos poderão ser reduzidos drasticamente se os detalhes dos pontos críticos forem previstos durante o projeto ou detectados durante a execução, conforme sugerido na lei dos cinco ou regra de Sitter; reproduzidos na Figura 2 (MELHADO; AGOPYAN, 1995; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; SOUZA, 2014; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; BERNHOEFT, 2018a).

A Figura 2 expõe um múltiplo na valorização dos serviços, conhecido com Lei dos cinco ou regra de Sitter, sendo que os custos variam conforme etapa de análise, aumentando exponencialmente em sequências de base cinco, conforme estabelecido na Figura 2, sendo que se a análise de problemas e correção sejam realizadas de forma antecipada durante a elaboração do projeto custará 01 (5^0); na execução custará 05 (5^1); na manutenção preventiva custará 25 (5^2); e na manutenção corretiva custará 125 (5^3) (MELHADO; AGOPYAN, 1995;

MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; SOUZA, 2014; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; SANTOS, 2018; BERNHOEFT, 2018b).

A Figura 1 e a Figura 2 se correlacionam de modo sistêmico, onde é possível identificar a periodicidade nas manutenções destacadas na Figura 1, com o objetivo de garantir o bom desempenho e funcionalidade do sistema, se tornam viáveis frente aos custos estimados que tecem a teoria da Figura 2 para as manutenções corretivas.

Figura 2 - Lei dos Cincos ou Regra de Sitter



Fonte: Adaptado (MELHADO; AGOPYAN, 1995; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; SOUZA, 2014; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; SANTOS, 2018; BERNHOEFT, 2018b)

Se os pontos críticos para um sistema construtivos forem previstos em projeto de forma assertiva, objetivado a prolongar a vida útil, bem como materiais de qualidade para garantir maior durabilidade, aumenta-se o lapso temporal da periodicidades das manutenções expressas na Figura 1, contribuindo para a saúde financeira e para um bom fluxo de caixa da gestão condominial (KONEČNÝ; LEHNER, 2016; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; SANTOS, 2018).

As previsibilidades de proteções estão intrinsicamente interligadas às ações deletérias que atuam constantemente sobre os sistemas construtivos, onde os principais estudos destacam os elementos estruturais, pois podem proporcionar a perda de estabilidade e comprometimento estrutural (ABNT, 2014; RIBEIRO; CASCUDO, 2018). Contudo, analisando os agentes deletérios abaixo, identifica-se que os principais agentes causadores de processos de degradação das estruturas possuem relação direta com a ação da água, intemperismo, micro e

macroambiente onde a estrutura está inserida (ABNT, 2014; BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019; GANÇAS, 2019; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016), conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais mecanismos de deterioração de elementos estruturais

NATUREZA DO PROCESSO	CONDIÇÕES PARTICULARES	EFEITOS A LONGO PRAZO
Carbonatação	• Umidade Relativa 60% a 85% • Porosidade • Concentração de CO₂	• Redução do pH • Corrosão de armaduras • Fissuração Superficial
Lixiviação	• Percolação da água • Chuvas ácidas • Alto índice de porosidade	• Redução do pH • Corrosão de armaduras • Desplacamento Superficial • Eflorescências (manchas esbranquiçadas)
Fungos e Mofo	• Alto índice de porosidade • Altas temperaturas (>20°C e <50°C) • Umidade Relativa >75%	• Redução do pH • Corrosão de armaduras • Desplacamento Superficial • Manchas no compósito cimentício
Álcali-agregado	• Umidade Relativa >95% • Composto por agregados reativos	• Expansão com posterior perda do monolitismo
Ataque por íons cloretos	• Atmosfera Marinha ou Industrial	• Despassivação e corrosão das armaduras
Ação de gelo e degelo	• Ciclos sucessivos de congelamento, expansão do volume da água, descongelamento, congelamento, etc.	• Desplacamento e delaminação do elemento de concreto armado

Fonte: (GANÇAS, 2019; LIMA, 2011; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011)

A Tabela 2 expõe os principais agentes de deterioração que influenciam diretamente na durabilidade dos elementos de concreto armado (GANÇAS, 2019; MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011), sendo que todos os processos estão diretamente ligados à ação da umidade/água e exposição a um macro ou microambiente agressivo, ou seja, a utilização de sistemas de impermeabilização reduz a porosidade dos elementos de concreto armado, tornando-os estanques e reduzindo a velocidade de penetração dos agentes deletérios (ABNT, 2014; LI; XU; ZENG, 2017; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016).

2.2 Degradação dos elementos de concreto armado

O grau de agressividade é elemento fundamental para determinação das proteções contra os agentes deletérios, a classificação torna subjetiva, dependendo do Macro e microambiente onde a estrutura ou o empreendimento está inserido, assim as classificações variam em I=Fraca; II=Média; III=Forte; e IV=Muito Forte, para determinação do índice de porosidade e resistência, interligados a relação água/cimento, aditivos e espessura de cobrimento das armaduras (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; ABNT, 2014; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; BERNHOEFT, 2018a).

A estabilidade das estruturas é intrinsecamente ligada com a durabilidade e condições de funcionalidade, que são produtos do processo de manutenção, onde se faz necessário manter o pH da estrutura $\geq 12,6$, garantindo a passivação da armadura pelo hidróxido de ferro ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), proteção química da armadura, bem como manter a integridade do cobrimento, proteção física contra os agentes deletérios (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; PEREIRA, 2011; ABNT, 2014; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; RIBEIRO; CASCUDO, 2018; SANTOS, 2018; GANÇAS, 2019).

De maneira generalizada, um empreendimento possui diversos sistemas construtivos, localizados internamente e externamente que possuem metodologias e periodicidades específicas para execução das manutenções (ABNT, 2011; PEREIRA, 2011; ABNT, 2012), mas devido a exposição às intempéries (ações de chuvas, exposição aos raios UV, ventos e variações térmicas), os sistemas construtivos externos tendem a sofrer constantemente com a perda desempenho, desgaste natural do uso, necessitando de monitoramentos e manutenções constantes (ABNT, 2012; ABNT, 2013; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016).

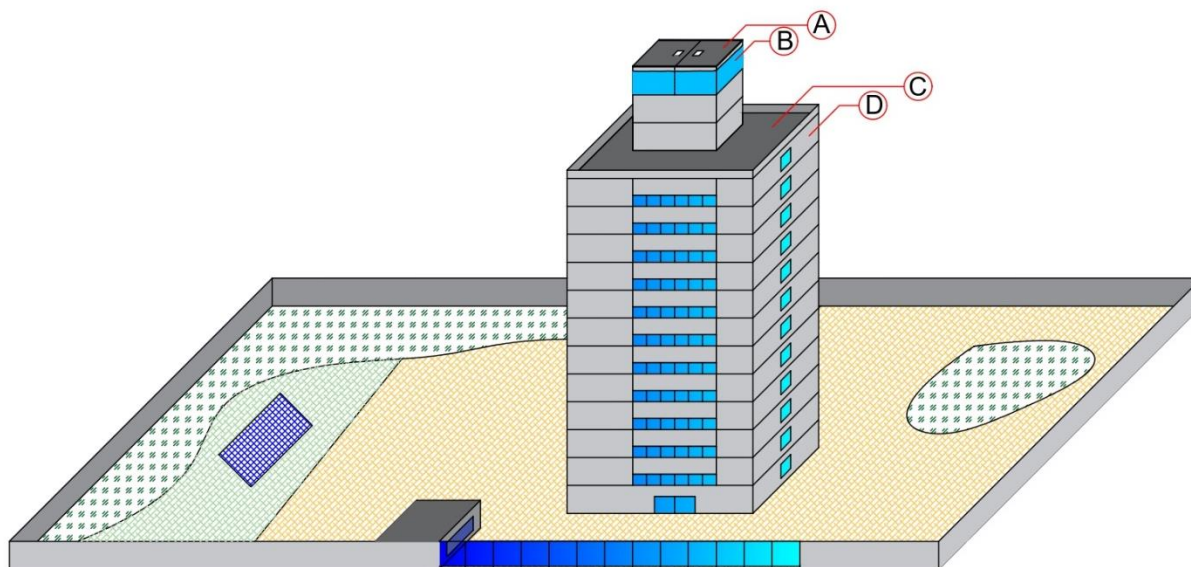
Os sistemas construtivos expostos sofrem ação dos agentes deletérios descritos na Tabela 2, sendo que os principais sistemas que se degradam de forma acelerada, estão destacados na Figura 3, sendo 4 pontos específicos:

- A) Laje de Cobertura sobre Reservatórios Superiores;
- B) Reservatórios Superiores;
- C) Laje de Cobertura sobre Unidades Autônomas; e
- D) Fachada.

Os sistemas construtivos elencados de A a D necessitam de um nível de detalhamento específico na metodologia executiva, bem como nas condições dos sistemas que garantam a estanqueidade dos ambientes adjacentes (LIMA, 2011; KONEČNÝ; LEHNER, 2016;

BERNHOEFT, 2018b; TOFANETTO et al., 2018; “IBI”, 2019; JIRÁNEK; KAČMAŘÍKOVÁ, 2019).

Figura 3 - Modelo de empreendimento



Fonte: Próprio autor (2021).

A Figura 3 demonstra diversos sistemas construtivos, como sistemas de jardinagem, revestimentos do pavimento térreo periférico, sistema de vedações, piscinas, fachadas, coberturas, reservatórios, entre outros, mas os sistemas localizados nas cotas inferiores possuem microclima diferente dos sistemas construtivos localizados em cotas superiores (fachada, coberturas e reservatórios), como baixa variação térmica devido a presença da jardinagem, sistemas de irrigação, variação do posicionamento do sol proporcionando sombras, contudo os sistemas das cotas superiores, possuem atuação constante e dos agentes devido ao microclima (LIMA, 2011; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; BAUER; LIMA, 2019).

Conforme descrito por Waldvogel et al., (2020), os elementos de concreto armado tendem a fissurar devido às ações físicas e químicas, proporcionada pelas variações térmicas e atuação dos agentes deletérios, onde se faz necessário a intervenção de proteção, previstas previamente, contudo Rodrigues, Junior e Lima. (2016), salientam que os elementos construtivos destacados na Figura 3 são os que se degradam com maior velocidade.

As variações térmicas atuantes sobre os sistemas construtivos demandam especificidades na determinação dos elementos impermeabilizantes projetados (ABNT, 2010; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; WALDVOGEL et al., 2020), reduzindo as possibilidades de penetração dos agentes deletérios e processos de degradação.

A Figura 4 demonstra os agentes deletérios e ações mais atuantes que podem degradar os sistemas construtivos destacados na Figura 3, sendo que a concentração de cada agente depende do microclima e macroclima onde o empreendimento está inserido (LIMA, 2011).

Figura 4 - Agentes deletérios atuantes sobre elementos construtivos internos



Fonte: Adaptado (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; LIMA, 2011; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; BAUER; VASCONCELOS; GANÇAS, 2019)

O item 4.3 da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) determina que os sistemas construtivos de interface limítrofe entre os ambientes internos e ambientes internos, devem proporcionar estanqueidade; conforto térmico; conforto acústico; conforto lumínico; condições de saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; e conforto tátil e antropodinâmico.

Dos parâmetros estabelecidos para garantir a estabilidade, o foco principal, será estabelecer a estanqueidade dos sistemas construtivos, evitando as manifestações patológicas inerentes a percolação e lixiviação provenientes das infiltrações, bem como garantir a saúde dos usuários.

2.3 Estanqueidade

A escassez de produções técnicas de parametrização de sistemas de impermeabilização e de aplicações dificultam uma análise sistêmica de desempenho e funcionalidade, mas segundo

Benevolo (1976, apud PICCHI, 1986) as construções de lajes tipo cogumelo executadas inicialmente em 1910, lajes tipo Cascas Cilíndricas executadas inicialmente em 1915 e 1917 e lajes planas em 1914, todas em concreto, já pensava-se maneiras ou métodos de se buscar a estanqueidade (PICCHI, 1986).

Os arquitetos que projetavam as lajes utilizavam métodos de garantir o escoamento rápido e total das águas pluviais com declividade do acabamento final e instalação de telhados (PICCHI, 1986), se tornando peças fundamentais para tomadas de decisões, que segundo Melhado e Agopyan (1995), os projetos se baseavam sobre os estudos preliminares e condições sistêmicas de comportamento do local, gerando informações fundamentais para a contratação dos serviços; metodologia e qualidade da execução.

Os sistemas de impermeabilização se destacam pela riqueza de detalhes nos arremates que garantem a estanqueidade, condições específicas que devem ser previstas em projeto e necessitam de mão de obra especializada, sendo que a conjuntura considerada é um entrave no mercado da construção civil (PICCHI, 1986; LI; XU; ZENG, 2017), situações que permanecem nos dias de hoje, visto que os detalhes em projetos e a especificidade de utilização dos produtos para que se obtenha alto desempenho, exigem ainda mais dos profissionais atuantes (RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; LI; XU; ZENG, 2017).

A determinação dos sistemas de impermeabilização sobre os elementos construtivos é uma definição de uma camada de proteção contra os agentes deletérios, bem como auxiliam ao elemento construtivo desempenhar condições normais de integridade e funcionalidade durante o lapso temporal da vida útil, garantindo condições de habitabilidade e saúde aos usuários (KONEČNÝ; LEHNER, 2016; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016, 2016; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; LI; XU; ZENG, 2017; JIRÁNEK; KAČMAŘÍKOVÁ, 2019; WALDVOGEL et al., 2020).

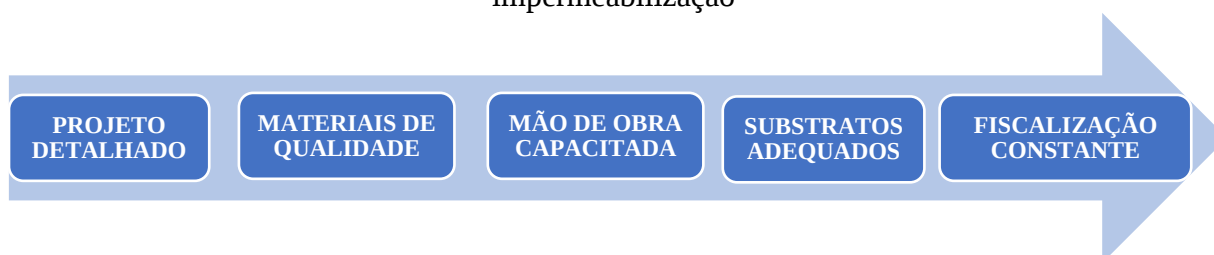
As características de trabalhabilidade dos elementos construtivos que suportam as condições normais de uso devem ser observados pela equipe de projeto (LAUAND, 2003; DEL MAR, 2015; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; LI; XU; ZENG, 2017; BERNHOEFT, 2018b), determinando os sistemas de impermeabilização adequados, as características dos materiais a serem utilizados, bem como o método de execução (PICCHI, 1986; ABNT, 2010; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; LI; XU; ZENG, 2017; “IBI”, 2018a; “IBI”, 2019).

O sistema de impermeabilização deve acompanhar as movimentações solicitadas pelas estruturas e elementos de vedação, de modo a garantir a estanqueidade do imóvel ou sistema

onde aplicado. (KONEČNÝ; LEHNER, 2016; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; “IBI”, 2018a).

Segundo Bauer, Vasconcelos e Granato, (2017); Granato, (2018); “IBI”, (2018); Storte, (2019) a exequibilidade assertiva do sistema de impermeabilização de obra nova ou a revitalização do sistema impermeabilização de um empreendimento pré-existente necessitam de parâmetros gerais para que se mantenham no ciclo de qualidade, como: projeto de impermeabilização detalhado; qualidade nos materiais utilizados; substratos onde os sistemas de impermeabilização serão aplicados; e fiscalização ríspida, conforme Figura 5.

Figura 5 - Ciclo de Qualidade dos procedimentos de execução dos sistemas de impermeabilização



Fonte: (BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; BERNHOEFT, 2018a; GRANATO, 2018; “IBI”, 2018a; STORTE, 2019)

Os projetistas do sistema de impermeabilização devem identificar nas especificidades dos projetos a Vida Útil de Projeto (VUP) do sistema de impermeabilização projetado, conforme estabelecido pela norma de desempenho e a norma de elaboração de projetos de impermeabilização (MELHADO; AGOPYAN, 1995; ISO, 2000; ABNT, 2010; ABNT, 2013; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; BERNHOEFT, 2018b).

Para determinação da VUP , se faz necessário estimar diversos pontos de interferência ou de métodos de favorecimento executivo ou manutenível, auxiliando na longevidade do sistema impermeabilizante, conforme estabelecido por Frazão (2020); Granato (2018); e ISO 15686-1, (2000), com aplicação de métodos fatoriais de correção da vida útil de referência determinadas pelos fabricantes dos materiais (ISO, 2000; GRANATO, 2018; FRAZÃO, 2020).

A norma de desempenho determina a VUP, em anos, com classificações em dois níveis, sendo Mínimo e Superior, onde a classificação mínima é a projeção mínima que o projetista deve utilizar como parâmetros da NBR 15575 (ABNT, 2013, p. 47–48), mas o IBI determina o valor de VUP Intermediário, sendo a mediana entre os valores Mínimo e Superior determinados pela norma de desempenho (“IBI”, 2018a), conforme demonstrado na Tabela 3.

A VUP é o produto dos fatores de correções sobre VUR (vida útil de referência), estimada pelos fabricantes ou entidades de classe, como por exemplo o IBI, onde o seu Guia de Aplicação da Norma de Desempenho para Impermeabilização (GRANATO, 2018; “IBI”, 2018a) determina a vida útil de referência conforme especificação, levando em consideração: Nível do projeto, nível da fiscalização, condições físicas do local, objetividade do sistema (contra pressão positiva; negativa ou bilateral), sistema construtivo a ser aplicado, consumo, espessura do sistema de impermeabilização, nível de atuação do lençol freático, bem como as variações para atendimento aos níveis de referências da VUP (Mínimo, Intermediário e Superior) conforme elencado na Tabela 3.

Tabela 3 - Exemplos de VUP aplicados a Sistemas/Elementos Construtivos

PARTE DA EDIFICAÇÃO	SISTEMAS/ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	VUP (Anos)		
		Ref. ABNT	Ref. IBI	Ref. ABNT
		Mínimo	Intermediário	Superior
Cobertura	Estrutura da cobertura e coletores de águas pluviais embutidos	≥ 20	≥ 25	≥ 30
	Telhado	≥ 13	≥ 16,5	≥ 20
	Calhas de beiral e coletores de águas pluviais aparentes, subcoberturas facilmente substituíveis	≥ 4	≥ 5	≥ 6
	Rufos, calhas internas e demais complementos (de ventilação, iluminação, vedação)	≥ 8	≥ 10	≥ 12
Impermeabilização manutenível com e sem quebra de revestimentos	Componentes de juntas e rejuntamentos; mata-juntas, sancas, golas rodapés e demais componentes de arremates	≥ 4	≥ 5	≥ 6
	Impermeabilização de caixa d'água, jardineiras, áreas externas com jardineiras, áreas externas com jardins, coberturas não utilizáveis, calhas e outros	≥ 8	≥ 10	≥ 12
	Impermeabilizações de áreas internas, piscina, áreas externas com pisos, de coberturas utilizáveis, de rampas de garagens, etc.	≥ 20	≥ 25	≥ 30

Fonte: Adaptada (ABNT, 2013, p. 47–48; “IBI”, 2018a)

A VUP demonstrada na Tabela 3 é a referência necessária para determinação da eficácia e as características de desempenho dos materiais, baseado na fichas técnicas, ensaios laboratoriais, o Guia de Aplicação do Instituto Brasileiro de impermeabilização e as normas

técnicas vigentes, assim determinando a especificidade dos materiais (ABNT, 2010; ABNT, 2013; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; “IBI”, 2018a; JIRÁNEK; KAČMAŘÍKOVÁ, 2019).

Contudo, a VUP escolhida durante a elaboração do projeto e/ou especificação (Tabela 3) se tornará a VUR, pois o projetista deverá analisar as condições do nível de especificidades do projeto, materiais utilizados, nível da fiscalização, condições do substrato e projeção das manutenções (ISO, 2000; ISO, 2001; GASPAR; BRITO, 2007; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; IBI, 2018b).

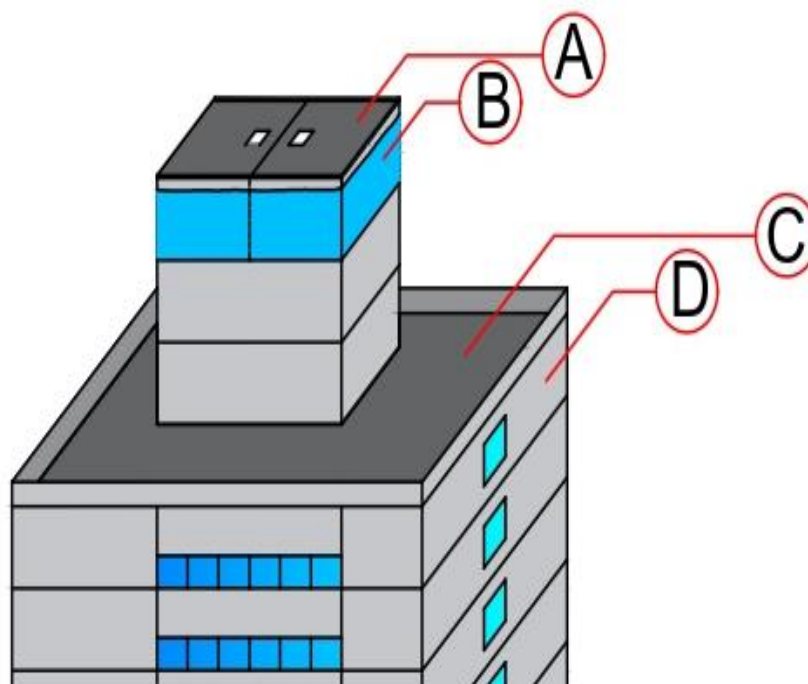
Analizando as condições destacadas na Figura 3, os sistemas construtivos reproduzidos parcialmente de forma destacada na Figura 6, tem a VUR específica, pois os elementos que sofrem constante processos de degradação, devem ser protegidos de forma distinta, devido à constante exposição aos agentes deletérios (RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017).

Segundo a Tabela 3 os elementos destacados na Figura 6 devem ser projetados especificando a VUP de cada sistema, como por exemplo, os itens A e C da Figura 6 devem ser projetados com VUP mínima de 20 anos e o item B com VUP mínima de 8 anos, aplicando o método de correção de fatores do IBI (IBI, 2018b).

A fiscalização também se torna uma etapa primordial para determinação da qualidade e longevidade da VUP real, sendo quanto mais ríspida, maior qualidade de entrega, conforme processo da Figura 5 com último processo do ciclo, tem o dever de analisar, acompanhar e compatibilizar os processos em execução, garantindo que o projetado seja executado, principalmente no que tange os detalhes. (RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017).

Na Figura 6, para a determinação dos sistemas que proporcionarão estanqueidade ao imóvel, que se comportam de forma diferente, exceto o item A e C, que são equivalentes, mas com variação apenas pela composição da estrutura, mas os sistemas de vedação são diferentes, onde os métodos de arremates são totalmente diferentes.

Figura 6 - Elementos construtivos destacados do empreendimento modelo



Fonte: Próprio autor (2021).

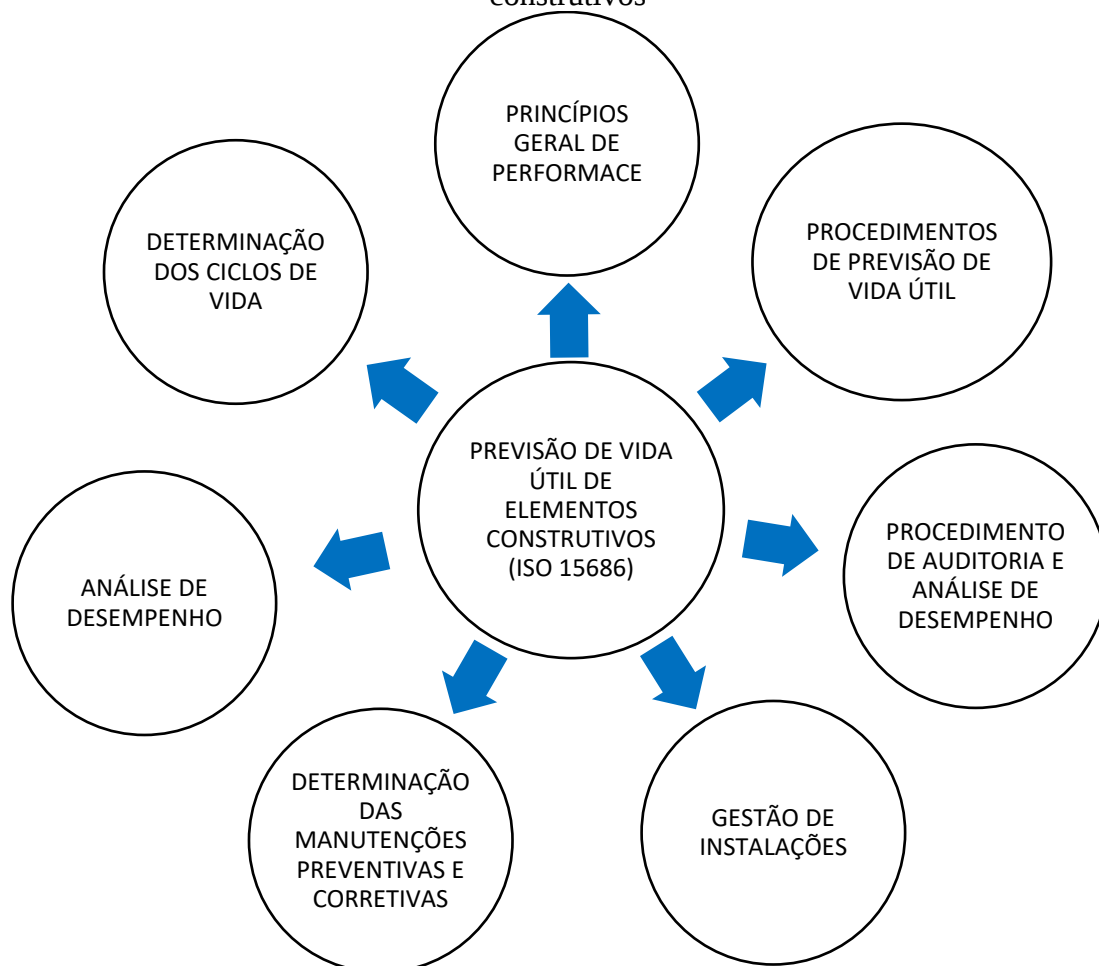
Os sistemas de impermeabilizações devem ser determinados com fator detalhamento de especificidades de materiais, métodos executivos e arremates (ABNT, 2010; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; BERNHOEFT, 2018b; “IBI”, 2019), bem como a determinação do consumo de materiais, a sequência da execução, vida útil projetada estimada de referência e espessura estimada do sistema de impermeabilização (ABNT, 2010; BAUER; VASCONCELOS; GRANATO, 2017; “IBI”, 2018a, p. 23–30; IBI, 2018b).

O consumo dos materiais e os métodos executivos estão diretamente interligados a espessura do material e a condições de aderências (apenas nos sistemas aderidos), que segundo o guia de aplicação do IBI, incumbe diretamente a correlação de projeção de vida útil estimada do sistema, desde que o produto projetado atenda a funcionalidade da modalidade de combate a umidade, frente a pressão da água atuante (SOUZA, 2014; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; SANTOS, 2018; “IBI”, 2018a).

Após os levantamentos, especificidades necessárias e determinação da vida útil de projeto estimada ou vida útil de referência (VUR), que segundo Granato (2018) deve ser corrigido pela aplicação do método de fatores do IBI, que está baseado nas orientações da ISO 15.686, onde guiam os métodos de correção de vida útil de serviços (ISO, 2000; GASPAR; BRITO, 2007).

A ISO 15686 está estruturada na metodologia de análise para determinação da vida útil, conforme demonstrado na Figura 7, com métodos de auditoria, análise de materiais e comportamentos durante o uso.

Figura 7 - Organograma da metodologia de determinação da vida útil de elementos construtivos



Fonte: Adaptado (ISO, 2000; GASPAR; BRITO, 2007)

A vida útil de projeto estimada não se torna determinística, pois existem diversos fatores de projeto, execução, fiscalização, comportamento em uso, condições de uso e exposições às intempéries que podem comprometer a previsibilidade (GRANATO, 2018)

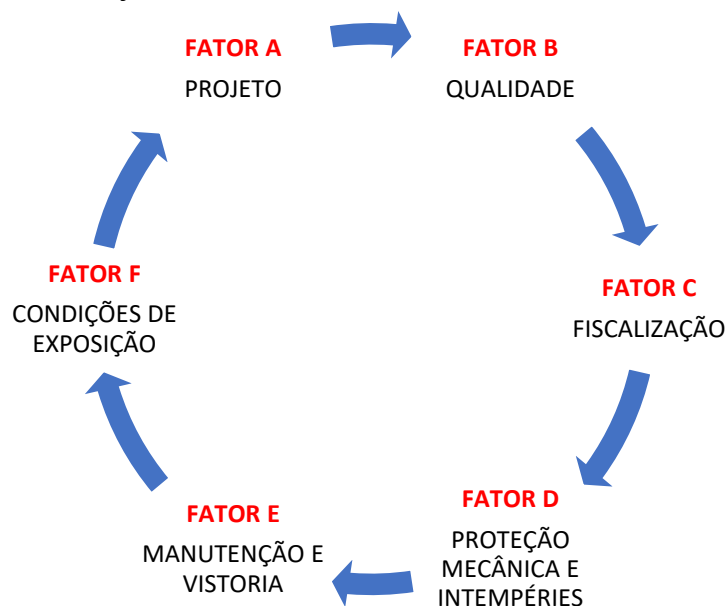
2.3.1 Determinação da VUR do sistema de impermeabilização

Aplicando a metodologia da ISO15686 e o IBI desenvolveram os métodos de análise para determinação dos coeficientes de correção da vida útil estimada de referência,

determinadas pelo projetista do sistema de impermeabilização, sendo necessário a conclusão de análise de ciclos de executivos durante o processo executivo e de uso (IBI, 2018b).

A Figura 8 determina os fatores de correções que estão segregados em 6 etapas, denominadas de Fatores de A a F, onde a análise se inicia nas análises prévias de projeto, até as condições do sistema em pleno uso e funcionamento (IBI, 2018b).

Figura 8 - Fatores de correções da vida útil de referência dos sistemas de impermeabilizações

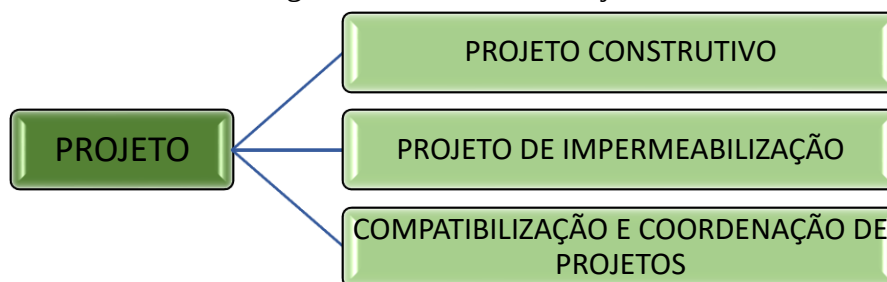


Fonte: Adaptado (“IBI”, 2018a; IBI, 2018b)

Sendo que a análise se determina por etapa de fatores, onde cada etapa corresponde a uma tabela, sendo necessário a escolha de uma opção em cada tabela de fator, onde Gaspar e Brito (2007), Granato (2018) e o IBI (2018b) indicam que o resultado a ser explicado é o produto da média dos fatores, multiplicado pela vida útil de projeto estimada (vida útil de referência), sendo o resultado da equação a VUP real, já com os resultados corrigidos (GASPAR; BRITO, 2007; GRANATO, 2018; IBI, 2018b).

O **FATOR A** corresponde ao índice fatorial de correção relacionado à projetos, onde a Figura 9 demonstra o **FATOR A** com 3 subdivisões, sendo Projeto Construtivo; Projeto de Impermeabilização; e Compatibilização e Coordenação de Projetos.

Figura 9 - FATOR A - Projeto



Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 correspondem as subdivisões do **FATOR A**, onde cada opção de escolha contém o fator de correção da vida útil de referência.

Tabela 4 - Projeto - Fator de Correção A1

FATOR A - PROJETO		
FATOR A1 - PROJETO CONSTRUTIVO	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Projeto adequado e parametrização detalhada e específica.	1	SEM ALTERAÇÃO
2- Projeto adequado e parametrização genérica.	0,9	-10%
3- Projeto inadequado e sem parametrização.	0,8	-20%

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 4 corresponde a análise do projeto construtivo, sendo que a opção 01 corresponde a um projeto adequado e bem especificado, mantendo a vida útil constante e sem alteração. A opção 02 trata-se de um projeto com detalhamentos genéricos sem especificidades dos elementos pré-existentes *in loco*, perdendo 10% da vida útil projetada. Já com relação a opção 03, trata-se de um croqui sem detalhamento e especificidade executiva, perdendo 20% da vida útil.

Tabela 5 - Projeto - Fator de Correção A2

FATOR A - PROJETO		
FATOR A2 - PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Projeto e parametrização detalhada com os demais projetos.	1	SEM ALTERAÇÃO
2- Projeto e parametrização genérica.	0,9	-10%
3- Sem projeto e com especificação.	0,8	-20%

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 5 possui a mesma funcionalidade da Tabela 4, mas com as especificidades voltadas para o projeto de impermeabilização, sendo a opção 01 trata-se de um projeto bem especificado com detalhes construtivos, sem alteração da vida útil. A opção 02 representa um projeto com detalhamentos genéricos sem especificidades dos elementos pré-existentes *in loco*, perdendo 10% da vida útil projetada. Com relação a opção 03 corresponde a inexistência de projetos de especificações, perdendo 20 % da vida útil estimada.

Tabela 6 - Projeto - Fator de Correção A3

FATOR A - PROJETO		
FATOR A3 - COMPATIBILIZAÇÃO E COORDENAÇÃO DE PROJETOS	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Compatibilização com projetos de hidráulica, elétrica, paisagismo, fôrma e outros que interfiram na impermeabilização, durante a fase de projeto.	1	SEM ALTERAÇÃO
2- Compatibilização com projetos de hidráulica, elétrica, paisagismo, forma e outros que interfiram na impermeabilização, durante a fase de execução da construção.	0,9	-10%
3- Compatibilização parcial com alguns projetos de hidráulica, elétrica, paisagismo, forma e outros que interfiram na impermeabilização.	0,8	-20%
4- Sem compatibilização com projetos de hidráulica, elétrica, paisagismo, forma e outros que interfiram na impermeabilização.	0,7	-30%

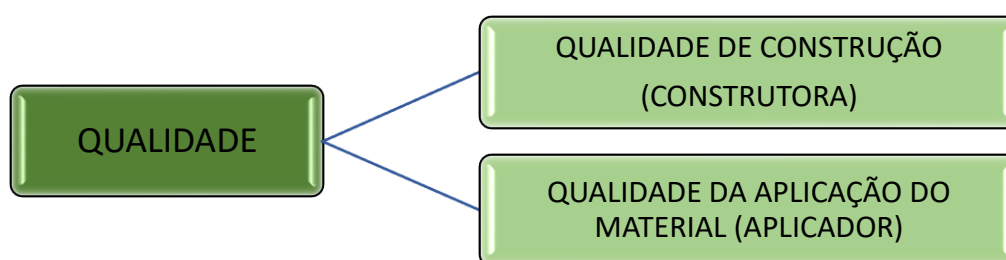
Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 6 analisa as condições de compatibilidade dos projetos, situação que corresponde diretamente na durabilidade dos sistemas de impermeabilizações (KONEČNÝ; LEHNER, 2016; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016), onde a opção 01 corresponde a um projeto totalmente compatibilizado na fase preliminar com os demais projetos (hidráulica, elétrica, estrutura, etc.), não interferindo na vida útil estimada. Opção 02 indica uma compatibilização *in loco* durante o processo executivo (elevando os custos, conforme Regra de Sitter - Figura 2, perdendo 10% da vida útil estimada. Opção 03 corresponde a uma compatibilização parcial dos projetos, sendo que não será possível planejar arremates em todas as interferências, perdendo 20% da vida útil estimada. Já a opção 04, relaciona a falta da compatibilização de projetos e na inobservância de interferências, sem a previsibilidade de interferências, perdendo 30% da vida útil estimada.

O **FATOR B** corresponde ao índice fatorial de correção relacionado à qualidade, onde a

Figura 10 demonstra o **FATOR B** com 2 subdivisões, sendo Qualidade de Construção (relacionado a construtora); e Qualidade da Aplicação do Material (relacionado a aplicação do material).

Figura 10 - FATOR B - Qualidade



Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 7 e a Tabela 8 correspondem as subdivisões do **FATOR B**, onde cada opção de escolha contém o fator de correção da vida útil de referência.

Tabela 7 - Qualidade - Fator de Correção B1

FATOR B - QUALIDADE		
FATOR B1 - QUALIDADE DE CONSTRUÇÃO (CONSTRUTORA)	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Com registro de controle de qualidade (possui ISO 9000, faz monitoramento e controle tecnológico).	1,1	+10%
2- Com registro de controle de qualidade (possui ISO 9000).	1	SEM ALTERAÇÃO
3- Com registro e controle de qualidade (possui controle tecnológico e faz monitoramento).	0,9	-10%
4- Sem controle de qualidade.	0,7	-30%

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 7 determina a análise simplória das condições no controle de qualidade da construtora frente ao processo executivo, sendo a opção 01 relacionada a um controle rigoroso na qualidade executiva e de gerenciamento, atendendo as especificidades da ISO 9000, com análise tecnológica, acrescentando 10% da vida útil estimada. Opção 02 corresponde se a construtora possui o sistema de qualidade da gestão e executiva atendendo as especificidades da ISO 9000, sem aumento da vida útil estimada. Opção 03 se integra as construtoras que possuem registro, controle no processo executivo e tecnológico, perdendo 10% da vida útil estimada. Com relação à opção 04, caracteriza construtoras sem controles de qualidade, procedimentos e análises tecnológicas, perdendo 30% da vida útil estimada.

Tabela 8 - Qualidade - Fator de Correção B2

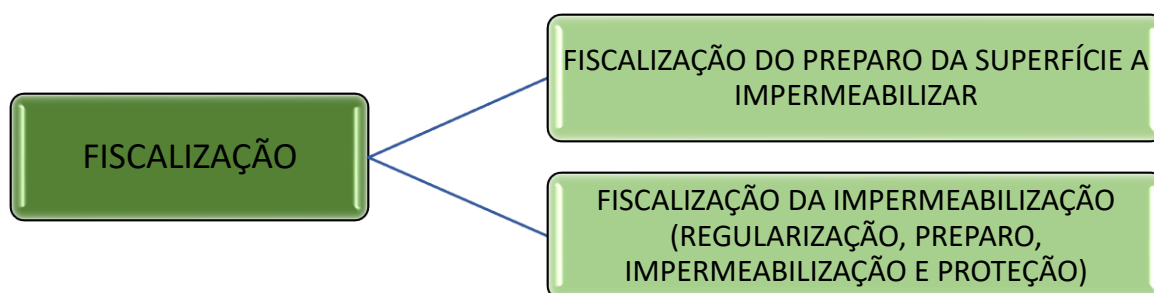
FATOR B - QUALIDADE		
FATOR B2 - QUALIDADE DA APLICAÇÃO DO MATERIAL (APLICADOR)	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Empresa especializada em engenharia de impermeabilização com ISO 9000.	1,1	+10%
2- Empresa especializada em engenharia de impermeabilização.	1	SEM ALTERAÇÃO
3- Mão de obra própria da construtora ou empresa não especializada com responsável técnico e ART específico de impermeabilização.	0,8	-20%

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 8 analisa a qualidade na aplicação do Material (Mão de Obra), sendo que a opção 01 caracteriza se a empresa prestadora é especialista no ramo de impermeabilização e possui gestão de qualidade ISO 9000, com acréscimo de 10% da vida útil estimada. Opção 02 corresponde a empresa executora especialidade sem acréscimo de vida útil estimada. Já a opção 03 corresponde a execução apenas com mão de obra própria sem prestação de serviços por empresa especializadas no ramo da impermeabilização, reduzindo 20% da vida útil estimada.

O **FATOR C** corresponde ao índice fatorial de correção relacionado à fiscalização, onde a Figura 11 demonstra o **FATOR C** com 2 subdivisões, sendo fiscalização do preparo da superfície a impermeabilizar; e Fiscalização da impermeabilização (regularização, preparo, impermeabilização e proteção).

Figura 11 - FATOR C - Fiscalização



Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 9 e Tabela 10 correspondem as subdivisões do **FATOR C**, onde cada opção de escolha contém o fator de correção da vida útil de referência.

Tabela 9 - Fiscalização - Fator de Correção C1

FATOR C - FISCALIZAÇÃO		
FATOR C1 - FISCALIZAÇÃO DO PREPARO DA SUPERFÍCIE A IMPERMEABILIZAR	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Fiscalização permanente pela construtora ou terceiro especializado, com responsável técnico.	1,1	+10%
2- Fiscalização eventual da construtora ou terceiro especializado, com responsável técnico.	1	SEM ALTERAÇÃO
3- Fiscalização inexistente.	0,8	-20%

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 9 corresponde a etapa de fiscalização do preparo da superfície/substrato a ser aplicado o impermeabilizante, onde a opção 01 integra um sistema de fiscalização constante por profissional habilitado e profissional responsável técnico, acrescentando 10% da vida útil estimada. A opção 02 corresponde à fiscalização eventual por um profissional especializado e habilitado, sem modificação da vida útil. A opção 03 corresponde a inexistência de fiscalização técnica por profissional especializado e habilitado, reduzindo a vida útil estimada em 20%.

Tabela 10 - Fiscalização - Fator de Correção C2

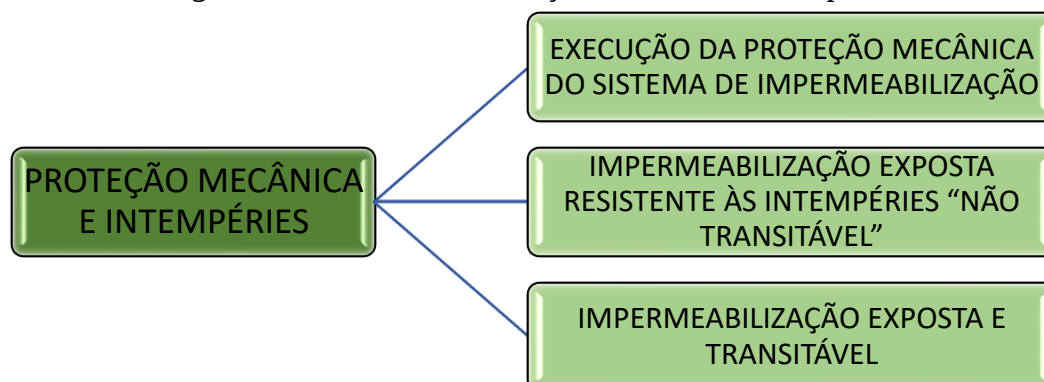
FATOR C - FISCALIZAÇÃO		
FATOR C2 - FISCALIZAÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO (REGULARIZAÇÃO, PREPARO, IMPERMEABILIZAÇÃO E PROTEÇÃO)	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Fiscalização permanente pelo projetista ou terceiro especializado, com responsável técnico.	1,1	+10%
2- Fiscalização eventual pelo projetista ou terceiro especializado, com responsável técnico.	1	SEM ALTERAÇÃO
3- Fiscalização pelo contratante.	0,9	-10%
4- Fiscalização inexistente.	0,8	-20%

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 10 corresponde a fiscalização da execução do sistema de impermeabilização, sendo que a opção 01 corresponde a fiscalização constante do projetista ou terceiro especializado e habilitado, acrescentando 10% a vida útil estimada. Opção 02 relaciona a eventuais fiscalizações, não constantes, pelo projetista ou terceiro especializado, sem alteração na vida útil estimada. Opção 03 corresponde a uma fiscalização do contratante nos processos de impermeabilização, sem análise técnica, comprometendo 10% da vida útil estimada. A opção 04 corresponde a inexistência de fiscalização técnica e não técnica sobre a execução do sistema de impermeabilização, decaindo em 20% da vida útil estimada.

O **FATOR D** corresponde ao índice fatorial de correção relacionado à proteção mecânica e intempéries, onde a Figura 12 demonstra o **FATOR D** com 3 subdivisões, sendo Execução da proteção mecânica do sistema de impermeabilização; Impermeabilização exposta resistente às intempéries “não transitável”; e Impermeabilização exposta e transitável.

Figura 12 - FATOR D - Proteção Mecânica e Intempéries



Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13 correspondem as subdivisões do **FATOR D**, onde cada opção de escolha contém o fator de correção da vida útil de referência.

Tabela 11 - Proteção Mecânica e Intempéries - Fator de Correção D1

FATOR D - PROTEÇÃO MECÂNICA E INTEMPÉRIES		
FATOR D1 - EXECUÇÃO DE PROTEÇÕES MECÂNICAS DA IMPERMEABILIZAÇÃO	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Proteção mecânica com projeto de dimensionamento para a utilização	1,1	+10%
2- Proteção mecânica primária executada pelo aplicador	1	SEM ALTERAÇÃO
3- Proteção mecânica sem parâmetros adequados	0,8	-20%
4- Não se aplica	1	SEM ALTERAÇÃO

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 11 incide diretamente sobre a execução da proteção mecânica, sendo a opção 01 contemplando projeto de dimensionamento da proteção mecânica conforme demanda/uso, acrescentando 10% a vida útil estimada. A opção 02 trata-se quando se executa a proteção mecânica primária, sem alteração na vida útil. A opção 03 contempla uma proteção mecânica sem parâmetros técnicos adequados a condições de uso e funcionalidade, reduzindo em 20% à vida útil. Já a opção 04, trata-se quando o sistema de impermeabilização são autoprotégidos, ou seja, não necessitam de proteção mecânica, como por exemplo, sistemas cimentícios de reservatórios, sem alteração da vida útil estimada.

Tabela 12 - Proteção Mecânica e Intempéries - Fator de Correção D2

FATOR D - PROTEÇÃO MECÂNICA E INTEMPÉRIES		
FATOR D2 - IMPERMEABILIZAÇÃO EXPOSTA RESISTENTE ÀS INTEMPÉRIES "NÃO TRANSITÁVEL"	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Sem trânsito de pedestre	1	SEM ALTERAÇÃO
2- Com trânsito eventual de pedestre	0,8	-20%
3- Não se aplica	1	SEM ALTERAÇÃO

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 12 analisa sistemas de impermeabilização auto protegidas, resistentes a intempéries, mas com a vida útil estimada devido ao trânsito sobre a mesma, assim a opção 01 representa o local sem trânsito de pedestres sobre o sistema de impermeabilização, sem alteração da vida útil estimada. A opção 02 evidencia se ocorrerá a circulação eventual de pedestres sobre o sistema de impermeabilização, reduzindo em 20% da vida útil de referência. A opção 03 representa a não aplicação dessa análise a determinadas finalidades, como por exemplo em reservatórios, sem alteração da vida útil estimada.

Tabela 13 - Proteção Mecânica e Intempéries - Fator de Correção D3

FATOR D - PROTEÇÃO MECÂNICA E INTEMPÉRIES		
FATOR D3 - IMPERMEABILIZAÇÕES EXPOSTAS E TRANSITÁVEIS	FATOR	REDUÇÃO VUP
1- Com especificação para a utilização e controle de consumo e espessura	1	SEM ALTERAÇÃO
2- Com especificação para a utilização e sem controle de consumo e espessura	0,8	-20%
3- Não se aplica	1	SEM ALTERAÇÃO

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018)

A Tabela 13 atua diretamente em sistemas de impermeabilizações expostas e transitáveis, mais comuns em áreas de estacionamentos ou áreas técnicas, sendo a opção 01 onde a executora tenha especificação de consumo, espessura e detalhamento executivo, garantindo a não alteração da vida útil estimada. Opção 02 representa a situação onde há a especificação do consumo, mas sem controle na execução, reduzindo em 20% da vida útil do

sistema de impermeabilização. A opção 03 trata-se de sistemas que não se aplicam na análise, sem alteração da vida útil estimada.

O **FATOR E** corresponde ao índice fatorial de correção relacionado à proteção mecânica e intempéries, onde a Figura 13 demonstra o **FATOR E** com 1 única subdivisão, sendo o Nível de manutenção e vistorias periódicas quando exigível.

Figura 13 - FATOR E - Manutenção e Vistoria



Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 14 corresponde a subdivisão do **FATOR E**, onde cada opção de escolha contém o fator de correção da vida útil de referência.

Tabela 14 - Manutenção e Vistoria - Fator de Correção E1

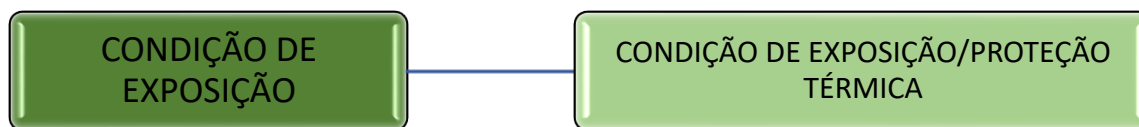
FATOR E - MANUTENÇÃO E VISTORIA		
FATOR E1 - NÍVEL DE MANUTENÇÃO E VISTORIAS PERIÓDICAS QUANDO EXIGÍVEL	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Manutenção e utilização conforme projeto	1,1	+10%
2- Sem plano de manutenção	0,8	-20%
3- Não se aplica	1	SEM ALTERAÇÃO

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 14 representa a projeção da vida útil estimada em relação a execução das manutenções, onde a opção 01 atua sobre um plano de manutenções sob orientação de manuais de uso e operação e detalhes de projeto, aumentando em 10% da vida útil estimada. A opção 02 representa a não utilização de um plano de atuação nas manutenções preventivas, representando redução de 20% da vida útil estimada. A opção 03 trata-se de sistemas que não se aplicam na análise, sem alteração da vida útil estimada.

O **FATOR F** corresponde ao índice fatorial de correção relacionado as condições de exposição, onde a Figura 14 demonstra o **FATOR F** com 1 única subdivisão, sendo a Condição de exposição/proteção térmica.

Figura 14 - FATOR F – Condição de exposição



Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 15 corresponde a subdivisão do **FATOR F**, onde cada opção de escolha contém o fator de correção da vida útil de referência.

Tabela 15 - Condição de Exposição - Fator de Correção F1

FATOR F - CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO		
FATOR F1 - CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO	FATOR DE CORREÇÃO	REDUÇÃO VUP
1- Com proteção térmica	1,1	+10%
2- Sem proteção térmica	1	SEM ALTERAÇÃO
3- Não se aplica	1	SEM ALTERAÇÃO

Fonte: Adaptado (GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

A Tabela 15 analisa se há proteções térmicas sobre os sistemas de impermeabilização, aliviando as variações térmicas sobre as impermeabilizações, sendo a opção 01 contemplando proteção térmica, acrescentando 10% da vida útil estimada. A opção 02 retrata um sistema de impermeabilização sem proteção térmica, mantendo a vida útil estimada sem alteração. A opção 03 trata-se de sistemas que não se aplicam na análise, sem alteração da vida útil estimada.

Para determinação da VUP, se faz necessário a aplicação do método de correção por fatores, onde se faz a média dos itens selecionados no fator, multiplicando todas as médias a VUR, obtendo a VUP real, com projeção de execução e uso (GASPAR; BRITO, 2007; GRANATO, 2018; IBI, 2018b), conforme Equação 1:

Equação 1 - Cálculo de Vida útil de Projeto do sistema de impermeabilização.

$$VUP = VUR \times \frac{\sum \text{fatores A}}{n \text{ fatores A}} \times \frac{\sum \text{fatores B}}{n \text{ fatores B}} \times \frac{\sum \text{fatores C}}{n \text{ fatores C}} \times \frac{\sum \text{fatores D}}{n \text{ fatores D}} \times \frac{\sum \text{fatores E}}{n \text{ fatores E}} \times \frac{\sum \text{fatores F}}{n \text{ fatores F}}$$

Fonte: Adaptado (GASPAR; BRITO, 2007; GRANATO, 2018; IBI, 2018b)

VUP: Vida Útil de Projeto

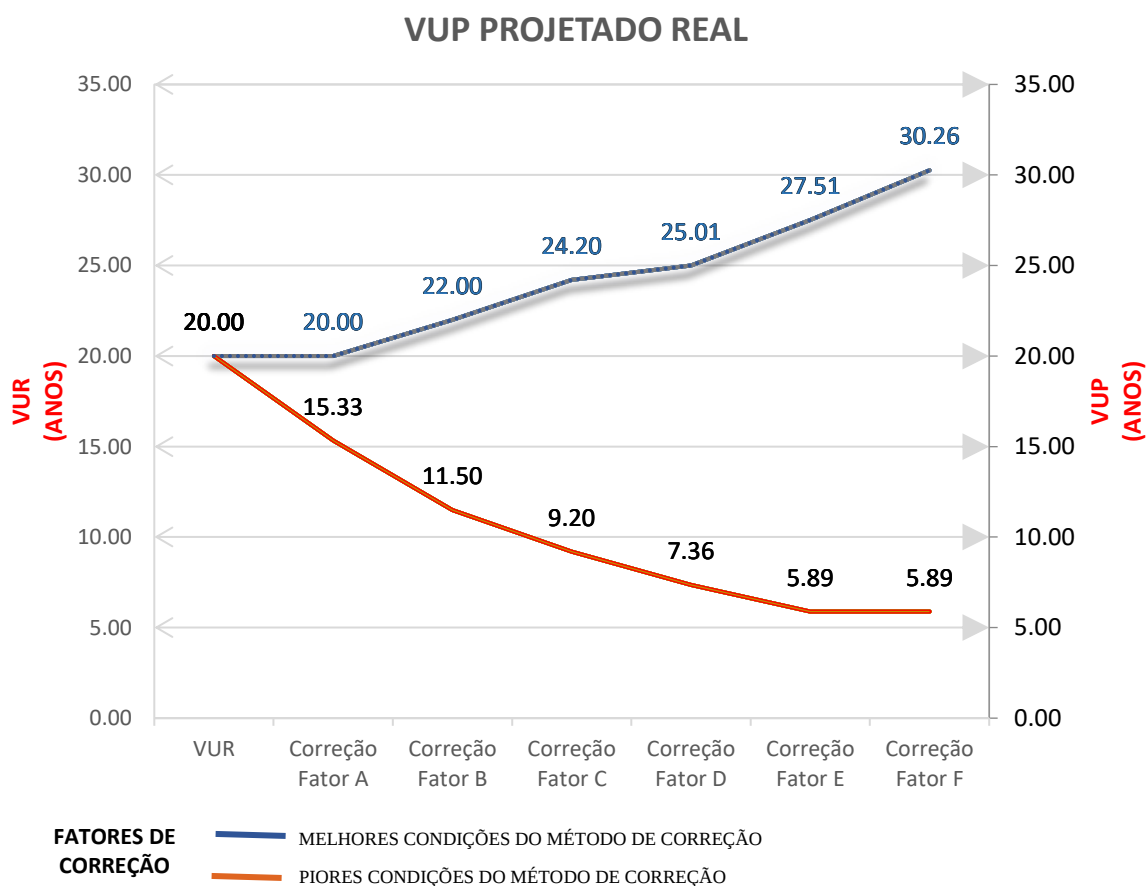
VUR: Vida Útil de Referência (VUP Estimada)

$\sum$ fator X = Somatória dos itens escolhidos nos temas das subdivisões do Fator X

n fatores x = número de subdivisões

Portanto, utilizando como base a Equação 1 e aplicando aos sistemas construtivos semelhantes A e C da Figura 6, elencada anteriormente, sob a VUP estimada (VUR) com desempenho mínimo de cobertura de ≥ 20 anos, sendo que a Figura 15 compara os fatores de correções com as melhores condições, bem como as piores condições, evidenciando a variação VUP projetada real.

Figura 15 - Análise da aplicação dos fatores de correção sobre VUR



Fonte: Próprio autor (2021).

Em análise do Figura 15, reflexo da Tabela 16, denota-se que a VUR adotada como condição de desempenho mínima (≥ 20 anos) sofrendo grandes variações na condição de **MELHOR CENÁRIO** nos parâmetros de Qualidade, Fiscalização, Proteção Mecânica e Intempéries. Já em relação as variações na condição de **PIOR CENÁRIO**, ocorrem nas condições de Projeto; Qualidade; Fiscalização; Proteção Mecânica; Intempéries; Manutenção e Vistoria.

Tabela 16 - Composição de dados do fator de correção da VUR

VUR (anos)	FATORES DE CORREÇÃO	MELHOR CENÁRIO	PIOR CENÁRIO	MELHOR CENÁRIO Média Fator X	PIOR CENÁRIO Média Fator X	MELHOR CENÁRIO VUP (Anos)	PIOR CENÁRIO VUP (Anos)
20	A1	1	0,8	1,00	0,77	30,26	5,89
	A2	1	0,8				
	A3	1	0,7				
	B1	1,1	0,7	1,10	0,75		
	B2	1,1	0,8				
	C1	1,1	0,8	1,10	0,80		
	C2	1,1	0,8				
	D1	1,1	0,8	1,03	0,80		
	D2	1	0,8				
	D3	1	0,8				
	E1	1,1	0,8	1,10	0,80		
	F1	1,1	1	1,10	1,00		

Fonte: Próprio autor (2021).

Contudo, analisando a Figura 15 e a Tabela 16, na correção a VUR pelo Método de Correção dos Fatores do IBI, as melhores condições apresentaram acréscimo da VUR em 51,3%, ou seja, ultrapassando a previsibilidade do desempenho superior elencado na Tabela 3, já em relação as piores condições, houve decréscimo de 70,55%, ou seja, não atendendo as condições de desempenho mínimo demonstrado na Tabela 3, chegando próximo ao término da garantia mínima para sistemas de impermeabilização.

A impermeabilização avaliada na Figura 15 e na Tabela 3, demonstram as condições dos sistemas A e C da Figura 6, já as condições que expressam o item B da Figura 6, sobre sistema de impermeabilização de reservatórios, serão destacados no item a seguir.

2.3.2 Reservatórios

Os reservatórios possuem cargas dinâmicas devido ao abastecimento, circulação de água, variação térmica da estrutura na face externa e esvaziamento durante o processo de manutenção, situações que devem ser previstas pelo cálculo estrutural (LAUAND, 2003).

Os sistemas de impermeabilização dos reservatórios devem ser duráveis e manter plena funcionalidade em condições submersa e não-submersa, acompanhando as movimentações dos reservatórios nos ciclos cheios e vazios, não comprometendo a potabilidade da água dos reservatórios, garantindo a estanqueidade, com o objetivo de não afetar a saúde dos usuários (ABNT, 2008; ABNT, 2010; KONEČNÝ; LEHNER, 2016; RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016).

O método dos fatores de correção da VUR se aplica nos reservatórios, sendo que em subdivisões que apresentam condições não aplicáveis, existem coeficientes de anulação da avaliação (GRANATO, 2018).

Para determinação dos sistemas de impermeabilização, se faz necessário determinar à qual pressão de água o sistema de impermeabilização estará sujeita; por solicitação (ABNT, 2010; “IBI”, 2018a), assim determinando os materiais adequados a serem aplicados.

A Figura 16 demonstra um sistema construtivo onde há pressão d’água atuante no sentido contrário ao sistema de impermeabilização, ou seja, de forma inversa à impermeabilização (ABNT, 2010; “IBI”, 2018a).

A Figura 17 demonstra um sistema construtivo onde a pressão d’água atuante está sobre o sistema de impermeabilização, ou seja, de forma direta sobre a impermeabilização (ABNT, 2010; “IBI”, 2018a)

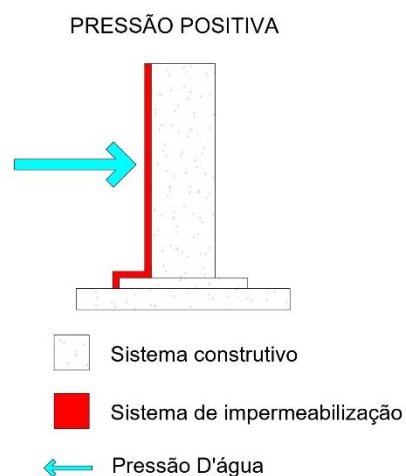
A Figura 18 demonstra o sistema construtivo recebendo pressões d’água sob pressão negativa e sob pressão positiva ao mesmo tempo (ABNT, 2010; “IBI”, 2018a).

Figura 16 - Sistema construtivo sob pressão negativa



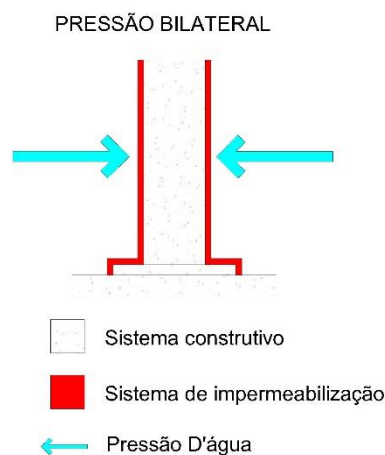
Fonte: Adaptado (ABNT, 2010; “IBI”, 2018a)

Figura 17 - Sistema construtivo sob pressão positiva



Fonte: Adaptado (ABNT, 2010; “IBI”, 2018a)

Figura 18 - Sistema construtivo sob pressão bilateral



Fonte: Adaptado (ABNT, 2010; “IBI”, 2018a)

Os sistemas de impermeabilizantes utilizados em reservatórios são sistemas geralmente aderidos, como por exemplos impermeabilizantes cimentícios, mantas asfálticas, membranas de poliuretano, etc., bem como também podem ser utilizados sistemas flutuantes, como manta PVC (ABNT, 2008; ABNT, 2010; “IBI”, 2018a).

Diversos reservatórios apresentam sistemas de impermeabilização em manta asfáltica, conforme Figura 19, devidos as movimentações excessivas, falhas estruturais, etc. (RODRIGUES; JÚNIOR; LIMA, 2016; BERNHOEFT, 2018a), sendo um sistema que

consegue acompanhar a estrutura, mas assim que findada a vida útil do sistema de impermeabilização, inicia-se a manifestação de infiltrações nos sistemas construtivos adjacentes, evidenciando a necessidade revitalização do sistema (SOUZA, 2014; SANTOS, 2018).

A execução de um sistema de manta asfáltica em reservatórios como impermeabilizante (Figura 19) é um sistema de alto risco a saúde operacional dos operários, devido a execução com maçarico em espaço confinado, esforço físico em local com pouco oxigênio devido a chama do maçarico e os custos de maquinários/equipamentos para viabilização dos procedimentos de segurança EPI (equipamento de proteção individual) e os EPC (equipamentos de proteção coletiva) (ALMEIDA, 2018; NR-33, 2019).

Figura 19 - Reservatório de água potável impermeabilizado com manta asfáltica



Fonte: Próprio autor (2021).

A Figura 19 demonstra um reservatório de água potável com impermeabilização em manta asfáltica, com vida útil real de 18 anos, apresentando indícios de vazamentos.

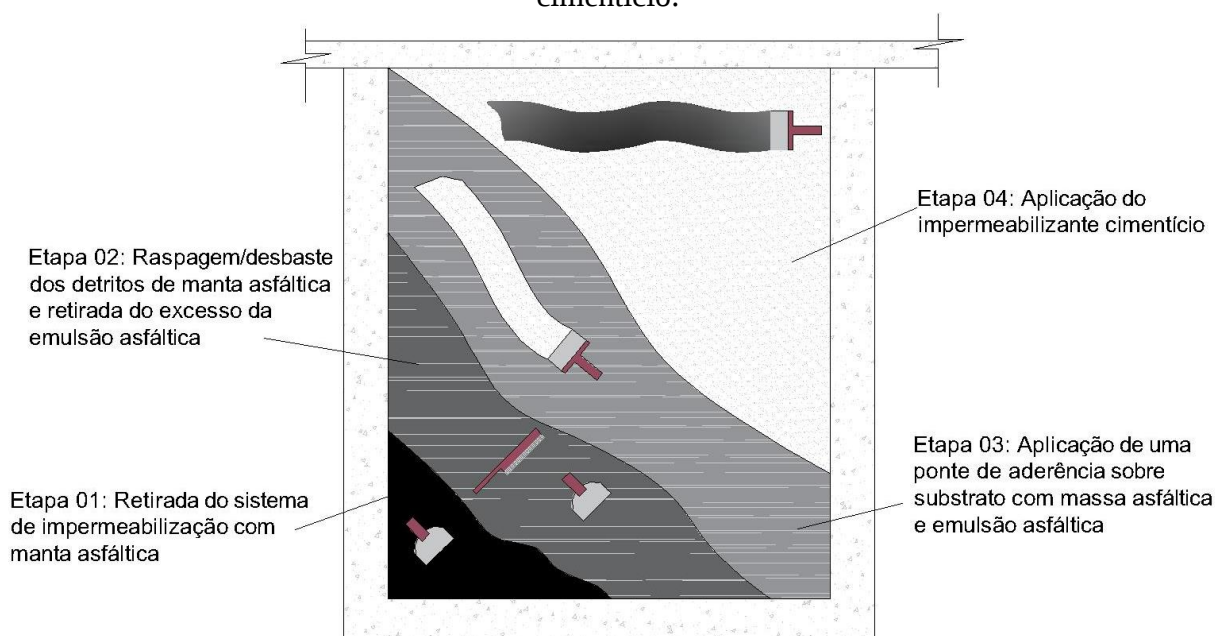
Os procedimentos de execução para a retirada da manta asfáltica em processos de revitalização do sistema de impermeabilização também são difíceis pelo ponto de vista da exequibilidade, principalmente dos procedimentos de raspagem mecânica, devido ao alto barulho pelo atrito de discos em espaço confinado, dispersão do pó em espaço confinado e limpeza generalizada, inviabilizando a execução devido a saúde dos funcionários.

Em reservatórios pré-existent, como por exemplo da Figura 19, com sistema em manta asfáltica apresentando falência na estanqueidade, com a manifestações de infiltrações, sendo que o sistema necessita de revitalização, onde em grande parte dos casos, com o intuito de evitar

os detalhes burocrático normativos de segurança, opta-se pela substituição com impermeabilizante de matriz cimentícia, devido a fácil execução e a manutenibilidade posterior (ABNT, 2008; ABNT, 2013).

Para a execução do procedimento de revitalização do sistema asfáltico para um sistema cimentício, contornando os problemas regulamentados pelos requisitos de segurança frente a retirada da manta, executa-se a retirada do impermeabilizante asfáltico manualmente com espátulas, ferramentas de corte (pequenos machados) e escovas de aço, conforme Figura 20, segmentando em 04 etapas.

Figura 20 - Procedimento de retirada do sistema asfáltico para a aplicação de um sistema cimentício.



Fonte: Próprio autor (2021).

A etapa 01, demonstrada na Figura 20, elucida a fase de retirada do impermeabilizante asfáltico manualmente com espátulas. A etapa 02, demonstra a raspagem posterior, com espátulas e escovas com cerdas aço, para a retirada de grande parte das massas asfálticas aderidas no substrato e retirada do excesso de emulsão asfáltica.

A etapa 03, torna-se a etapa crucial de desempenho e durabilidade do novo sistema de impermeabilização, pois trata-se de um novo sistema de impermeabilização que funciona de forma aderida, que necessita de um substrato íntegro, coeso e sem emulsão (ABNT, 2008; ABNT, 2010), mas o substrato encontrado após a etapa 02, apresenta-se saturado por emulsão asfáltica e massa asfáltica bem aderidos, sendo que empiricamente no mercado de trabalho é utilizado um compósito cimentício de cimento, areia e aditivo promotor de aderência, a base

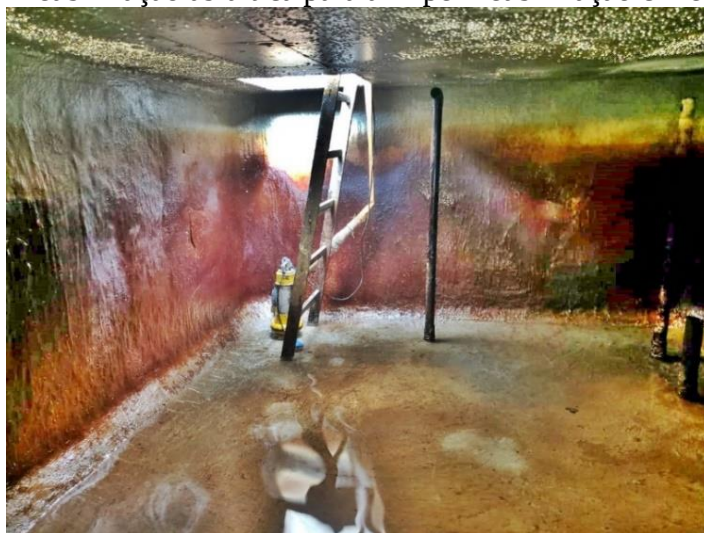
copolímero acrílico, com o traço 1:1:1, denominado “camada de mordente”, com o objetivo de executar uma ponte de aderência entre um substrato saturado com materiais asfálticos e o impermeabilizante cimentício, assim tornando um substrato coeso, e sem emulsão asfáltica.

A etapa 4, aborda a execução/aplicação do sistema de impermeabilização de matriz cimentícia (argamassa polimérica, membrana de polímero acrílico com cimento, etc.), sendo que os consumos e especificações devem ser elencadas em projetos.

A etapa 03, demonstrada na Figura 20, provem de procedimentos empíricos, não constantes em normas técnicas e especificações estudadas em dissertações, teses ou artigos técnicos, atestando as aderências químicas e físicas, bem como o desempenho de aderência durante a funcionalidade, sendo objeto principal desta dissertação.

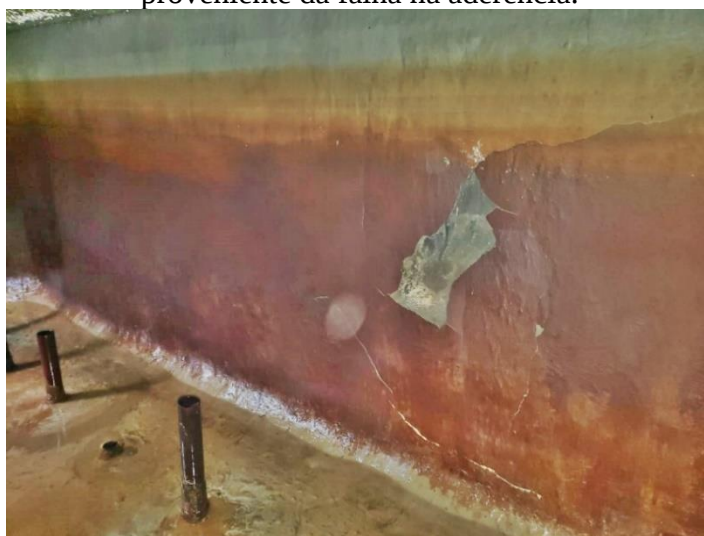
A Figura 21 e Figura 22 demonstram que o procedimento executado empiricamente no mercado apresenta problemas de desempenho e aderência durante a funcionalidade, apresentando custos elevados ao departamento de assistência técnica da empresa com manutenções corretivas, conforme Figura 21 e Figura 2.

Figura 21 - Reservatório de água potável com a revitalização do sistema de impermeabilização asfáltica para a impermeabilização cimentícia.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 22 - Detalhes do novo sistema de impermeabilização apresentando deslocamento proveniente da falha na aderência.



Fonte: Próprio autor (2021).

Já as Figura 23, Figura 24 e Figura 25 apresentam a falha de aderência química do impermeabilizante cimentício sobre um substrato com material asfáltico, caracterizado pela falha de compatibilidade química entre os materiais polares e apolares (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009; DECOL et al., 2014; LUNA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2019a).

Figura 23 - Substrato com massa asfáltica aderida no substrato (setas vermelhas), sem aderência do impermeabilizante cimentício.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 24 - Impermeabilizante cimentício deslocado do substrato, onde apresentou apenas aderência física a massa asfáltica, observada pela moldagem do impermeabilizante cimentício sobre a massa asfáltica.



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 25 - Vista em detalhes do impermeabilizante cimentício deslocado do substrato, onde apresentou apenas aderência física a massa asfáltica, observada pela moldagem do impermeabilizante cimentício sobre a massa asfáltica.



Fonte: Próprio autor (2021).

Como a massa asfáltica está aderida nos substratos, conforme demonstrado na Figura 23, Figura 24 e Figura 25, com características químicas apolares (ZHANG, 2011) e o impermeabilizante cimentício polar, necessitando assim de uma ponte de aderência aditivada com um agente compatibilizante, com estruturas polares e apolares (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009; DECOL et al., 2014; LUNA et al., 2016; SENDERSKI, 2017; OLIVEIRA et al., 2019a).

Durante o processo de revitalização do sistema de impermeabilização dos reservatórios, onde apresentavam manta asfáltica pré-existente e foram substituídos por um impermeabilizante cimentício, se fez necessário o desbaste manual e retirada da manta asfáltica, com posterior bota fora, onde o substrato apresentam poros saturados com emulsão asfáltica e detritos de manta asfáltica/massa asfáltica, contudo, doravante são aplicados dois procedimentos:

- Desbaste mecânico com disco adiamantado para a retirada integral de toda emulsão asfáltica; manta asfáltica; e massa asfáltica, para posterior impermeabilização com impermeabilizante cimentício, situação que abrange diretamente os requisitos de segurança e saúde dos prestadores frente a nevoa gerada em espaço confinado (ALMEIDA, 2018; NR-33, 2019), bem como a redução do cobrimento do elemento de concreto armado;
- Aplicação de uma ponte de aderência, sendo que os materiais utilizados podem impactar diretamente no custo da execução dos serviços, bem como se torna diretamente proporcional à durabilidade do sistema (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009; ABNT, 2010; ABNT, 2013; DECOL et al., 2014; ABNT, 2015; LUNA et al., 2016; SENDERSKI, 2017; OLIVEIRA et al., 2019b), com posterior aplicação do impermeabilizante cimentício, sem grandes impactos e observações de restrições da Norma regulamentadora (NR-33, 2019).

A pouca utilização da manta asfáltica reflete na aplicação das restrições e cuidados das normas regulamentadoras que inviabilizam a execução devido as premissas de segurança e saúde dos prestadores (ALMEIDA, 2018; NR-33, 2019), bem como mais de 37% dos profissionais participantes da pesquisa já evidenciaram o sistema de manta asfáltica influenciando diretamente para a impureza visual, podendo comprometer a potabilidade da água dos reservatórios, conforme demonstrados na Figura 26 e Figura 27.

Figura 26 - Reservatório de água potável em pleno funcionamento apresentando água escura e dissolução de líquido preto escorrendo sobre a impermeabilização em manta asfáltica



Fonte: Próprio autor (2021).

Figura 27 - Vista em detalhe do sistema de impermeabilização em manta asfáltica do reservatório de águas potáveis, contendo água escura (seta azul) e manchas escorridas pretas sobre o sistema (seta vermelha)



Fonte: Próprio autor (2021).

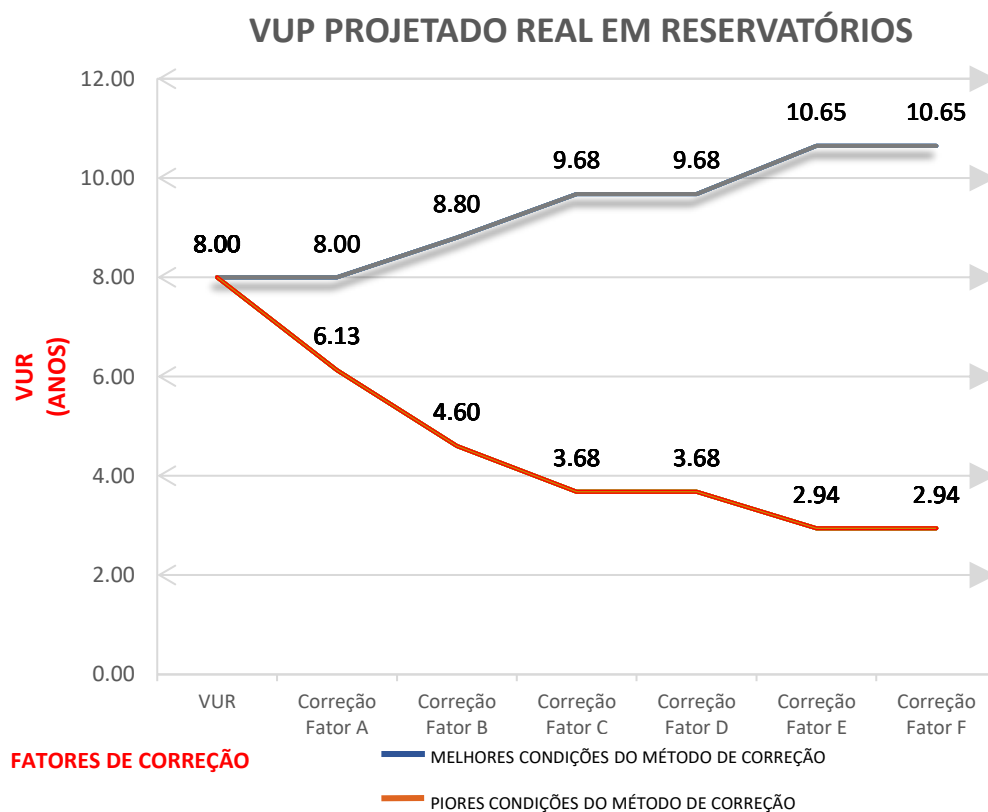
O impermeabilizante cimentício permite uma manutenibilidade para a equipe de manutenção do local, bem como fácil identificação de deterioração do sistema, ajudando nas

manutenções previstas e necessárias, conforme exigido na norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), refletindo também nos custos conforme Figura 2, Lei de Sitter.

Considerando a revitalização da impermeabilização do reservatório, quando asfáltico para cimentício, o sistema de impermeabilizante cimentício é aplicado sobre substrato saturado por emulsão ou massa asfáltica, como por exemplo detritos de manta asfáltica, obtemos falhas de aderência e por consequência de desempenho, refletidas em chamados de assistência técnica para reparos, elevando os custos, assim determinar o melhor método de ponte de aderência com compatibilizante viabiliza a aplicação produto nestas condições, bem como proporciona melhor custo benefício ao cliente final.

Isso se reflete diretamente na vida útil projetada real pelo método de correção do IBI e da ISO 15686, sendo que se aplicarmos os métodos de correções expressos na Tabela 4 a Tabela 15, sob o ponto de vista do ciclo de análise da Figura 8, se obteve a seguinte análise:

Figura 28- Análise da aplicação dos fatores de correção sobre VUR de sistemas de reservatórios



Fonte: Próprio autor (2021).

A Figura 28 expressa a análise da vida útil de referência com desempenho satisfatório mínimo de 8 anos, conforme Tabela 3, com a aplicação da Equação 1, identificamos o comportamento das condições de vida útil real em reservatórios, explanando as melhores e piores condições a serem encontradas, determinando o intervalo de desempenho que o sistema possa tramitar.

A Figura 28 demonstra que os Fatores D e F não se aplicam em reservatórios, tonando os resultados constantes em ambos os casos de análise, já a queda abrupta entre os Fatores A e C, expressam diretamente a falha de Projeto, Qualidade e Fiscalização, que por consequência gerará custos adicionais para execução das correções, sendo que o sistema terá uma vida útil menor do que a garantia de estanqueidade de 5 anos.

A aderência ao substrato é fundamental para a durabilidade e funcionalidade dos impermeabilizantes cimentícios (“IBI”, 2018a), sendo responsabilidade do projeto, da qualidade e da fiscalização a previsibilidade das interfaces onde o impermeabilizante será aderido, sendo necessário o atendimento mínimo 0,50 MPa de resistência de tração na aderência mínima de ancoragem no impermeabilizante cimentício no substrato, conforme NBR 15885 e NBR 11905 (ABNT, 2010; ABNT, 2015).

Em condições de revitalização do sistema de impermeabilização de base asfáltica para cimentícia, torna-se necessário a utilização de um compatibilizante, para que o sistema consiga aderir nas interferências de polaridades químicas opostas, garantindo assim, bom desempenho (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009).

2.3.3 A ação dos agentes compatibilizantes

Os agentes compatibilizantes têm a função de promover a interação interfacial dos materiais que não apresentam compatibilidade química, melhorando o desempenho através da adesão e transmissões de esforços mais adequadas (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009; DECOL et al., 2014; MENGUAL et al., 2017; HAO et al., 2021; DOMINGUEZ-CANDELA et al., 2022).

Com o intuito de aprimorar adesões, aumento de resistências a tração e maior módulo de elasticidade, são inseridos diversos polímeros na matéria prima, melhorando as características mecânicas, mas quando duas interfaces são quimicamente diferentes, apenas com a utilização/ingresso de um compatibilizante, haverá a interatividade entre os materiais polares e apolares (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009; DECOL et al., 2014; REIS et al., 2016; MENGUAL et al., 2017; HAO et al., 2021).

Os agentes compatibilizantes, em sua estrutura molecular, possuem as extremidades quimicamente com estrutura polar e a outra extremidade com estrutura apolar, conseguindo assim compatibilizar com ambas superfícies de contato, transmitindo os esforços para os elementos estruturais aderidos, bem como dá coesão ao sistema (MENGUAL et al., 2017; DOMINGUEZ-CANDELA et al., 2022).

A construção civil utiliza cada vez mais os polímeros juntos aos materiais, de modo a viabilizar e garantir a durabilidade e desempenho dos materiais, mas há diversos materiais com interfaces químicas diferentes, com tensões superficiais distintas, necessitando de materiais compatibilizantes para ambos os casos (SILVA et al., 2015; LUNA et al., 2016; REIS et al., 2016).

A associação de materiais com tensões superficiais diferentes, necessitam de agentes compatibilizantes para conjugar, aproximando tensão superficial e o ângulo de contato para a interatividade com materiais distintos (OLIVEIRA et al., 2019b; HAO et al., 2021).

A utilização de agentes compatibilizantes entre materiais quimicamente diferente demonstram grande resultado de adesividade, com interação do materiais distintos (BETTINI; ANTUNES; MAGNABOSCO, 2009; HAO et al., 2021; DOMINGUEZ-CANDELA et al., 2022), mas a utilização de aditivos disponíveis nos mercados, como resina sintética copolímero vinílico, própria para promover aderência de compósitos cimentícios, não apresentam bom desempenho, pois têm históricos de falhas na aderência, conforme constatado pela Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 25 (GONÇALVES; AZAMBUJA, 2016).

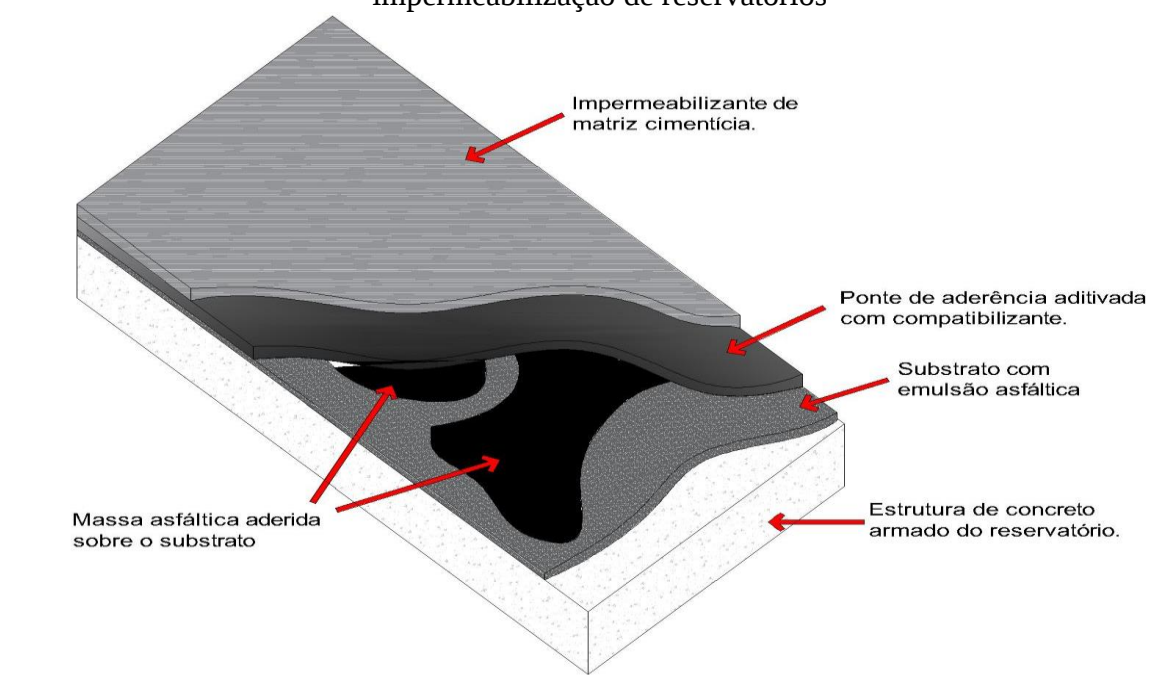
A análise da revitalização do sistema impermeabilizante do reservatório, sendo a aplicação de um impermeabilizante cimentício sobre um substrato saturado com emulsão asfáltica e massa asfáltica, onde a massa asfáltica e a emulsão asfáltica são quimicamente apolares, rico em carbono e hidrocarbonetos, dicotômica ao impermeabilizante cimentício, sendo polar e com tensões superficiais distintas (ZHANG, 2011; LUNA et al., 2016).

Atuando na lacuna de estudos desempenho, as pontes de aderência cimentícias foram aditivadas com promotores aderência para compósitos cimentícios disponíveis no mercado, como copolímero vinílico, aditivos acrílicos, aditivo de polímero sintético SBR (Emulsão estireno-butadieno) ou membranas aderentes em qualquer tipo de superfície, com membranas epoxídicas.

A Figura 29 representa todas as camadas encontradas em um processo de revitalização do sistema de impermeabilização de reservatórios, com a substituição de um impermeabilizante asfáltico por um impermeabilizante cimentício.

Segundo o IBI (2018), o desempenho e durabilidade dos impermeabilizantes cimentício estão diretamente ligados a aderência ao substrato, onde a NBR 9574 e NBR 9575 apresentam as condições essenciais do substrato para aplicação, sendo limpo, íntegro, coeso e sem emulsões, caracterizando a necessidade da retirada ou mudança do substrato existente, devido a impregnação da emulsão asfáltica e dos detritos de massa asfáltica, proveniente a retirada das mantas (ABNT, 2008; ABNT, 2010; “IBI”, 2018a).

Figura 29 - Representação das camadas durante o processo de revitalização do sistema de impermeabilização de reservatórios



Fonte: Próprio autor (2021).

A interatividade entre materiais quimicamente diferentes deve receber a ação de agentes de acoplamento/compatibilizantes para gerar adesividade/aderência química entre as interfaces (HAO et al., 2021).

Contudo, o sistema de impermeabilização cimentício deve estar aderido a um substrato limpo, coeso e quimicamente compatibilizado, para que o sistema tenha adesão química e mecânica, portanto a camada de ponte de aderência da Figura 29, torna-se o ponto crucial de durabilidade e desempenho do sistema de impermeabilização, justamente objeto de estudo desta dissertação.

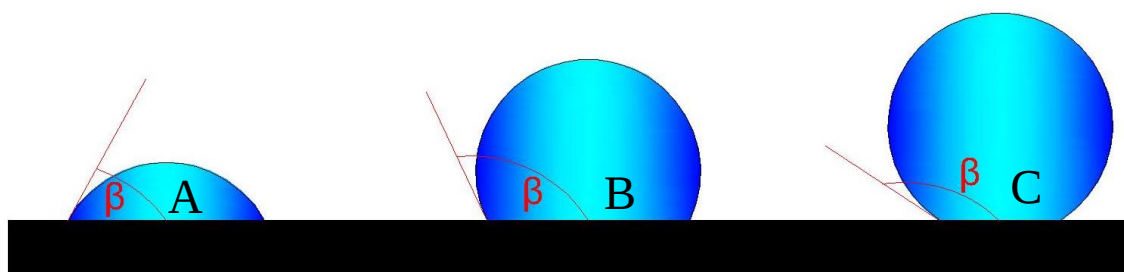
2.3.4 Determinação da polaridade por medição do ângulo de contato

A análise do ângulo de contato, medido pelo equipamento goniômetro, tem como objetivo analisar o formato da gota da água sobre uma superfície composta com componentes de análise, determinando o quão o material é hidrófilo ou hidrofóbico, que por consequência, define a polaridade do material (SILVA et al., 2007; PICOLO; LEBRÃO, 2018).

A formação de energia livre superficial, sendo provenientes das ligações livres insaturadas superficial formada pelo átomos, gerando a determinação de sua natureza, frente a análise da capacidade de molhabilidade do material ou superfície do material, analisada sobre a adsorção de moleca de água versos a energia livre superficial, determinando a hidrofobicidade (LUZ; LIMA, 2007; HILAL et al., 2017; WANG et al., 2018).

As superfícies receberão gotas de água destilada, para medição do ângulo de contato, sedo que quanto maior o ângulo de contato, mais hidrofóbico é o material da superfície, ou seja, os materiais polares são hidrófilos, portanto possuem afinidade com a água, diminuindo o ângulo de contato, conforme exemplo A da Figura 30, já os materiais apolares são hidro-repelente/hidrofóbicos, ou seja, repelem água, mantendo a gota com a tensão superficial, aumentando o ângulo de contato, em níveis diferentes conforme exemplo B e C da Figura 30 (PICOLO; LEBRÃO, 2018).

Figura 30 - Determinação do ângulo de contato



Fonte: Adaptado (PICOLO; LEBRÃO, 2018)

Os ângulos obtidos no ensaio são primordiais para a determinação da polaridade das superfícies, como no exemplo da Figura 30, sendo que se o ângulo de contato β for $< 90^\circ$, trata-se de um material de superfície hidrófilo polar, sendo caracterizado como hidrofílica; se o ângulo de contato for $90^\circ < \beta < 150^\circ$, classifica-se o material de superfície como hidrofóbica, ou seja, hidrorrepelente apolar, onde a gota mantém a tensão superficial; e por fim se o ângulo de contato for $\beta > 150^\circ$, o material da superfície será caracterizado como super hidrofóbica apolar (LUZ; LIMA, 2007; PICOLO; LEBRÃO, 2018).

A interação química de superfície está diretamente ligada a energia livre superficial de cada material, sendo que para a interatividade de aderência está correlacionada a polaridade e ângulo de contato da gota de água sobre as superfícies analisadas pelo goniômetro (LUZ; LIMA, 2007; MENGUAL et al., 2017; WANG et al., 2018).

Com as definições das polaridades pelo análise de ângulo de contato, determinará na aplicação a funcionalidade/interface do agente compatibilizante sobre superfície distinta (WANG et al., 2018), sendo a eficiência da ponte de aderência substrato/emulsão asfáltica, emulsão asfáltica/massas asfáltica e massa asfáltica/ponto de aderência com agente compatibilizante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Pesquisa de Mercado

Frente à inexistência de referências técnicas publicadas sobre o assunto, a análise de uma necessidade deve ser atribuída para a uma pesquisa com formulários com enquetes ponderadas aos públicos-alvo atuantes no mercado, onde será possível obter parâmetros fundamentados pela perícia do ramo.

O formulário realizado via plataforma do Google Forms, possui 12 perguntas, sendo direcionadas diretamente para área da tecnologia da impermeabilização.

A Tabela 17 e a Figura 31 correspondem a resposta da pergunta a seguir:

Pergunta 1: Qual sua habilitação profissional?

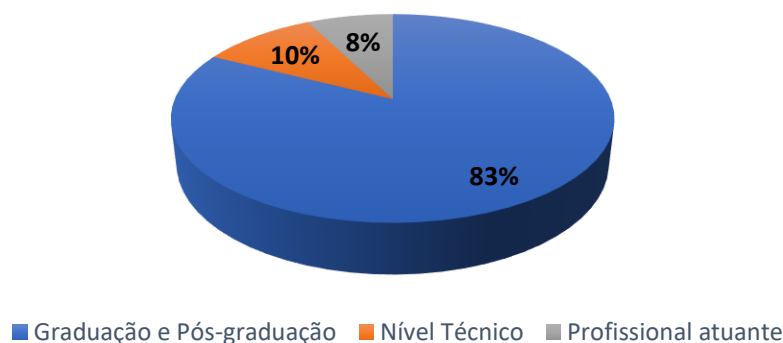
Tabela 17 - Profissionais entrevistados pela plataforma Google Forms

PROFISSÃO	QUANTIDADE
Engenheiro	26
Técnico em Edificações	4
Tecnólogo	5
Arquiteto	1
Profissional de execução de serviços de impermeabilização	3
Pós-graduado em Impermeabilização	1

Fonte: Próprio autor (2021).

A Figura 31 expressa claramente que a pesquisa tramita diretamente sobre todas as ramificações hierárquicas atuantes nos serviços de impermeabilização.

Figura 31 - Nível dos profissionais que responderam ao questionário via plataforma Google Forms



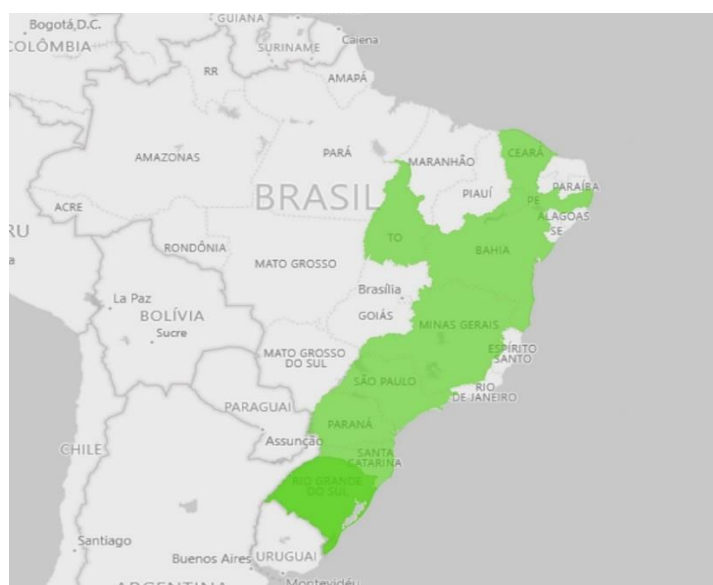
Fonte: Próprio autor (2021).

Os profissionais atuantes na área que responderam à pesquisa são compostos por 83% graduados e pós-graduados (Engenheiros ou Arquitetos ou tecnólogos), 10% nível técnico (Técnico em edificações) e 8% de profissionais atuantes no mercado (aplicadores/impermeabilizadores), conforme Tabela 17 e Figura 31.

A Figura 32 e a Tabela 18 representam a distribuição dos profissionais que participaram da pesquisa no Brasil, através da pergunta a seguir, onde estão destacados os estados onde os profissionais atuam, diversificando as ideias e culturas regionalizadas:

Pergunta 2: Qual estado onde atua na execução de serviços de impermeabilização?

Figura 32 - Mapeamento dos profissionais que participaram da pesquisa



Fonte: Próprio autor (2021).

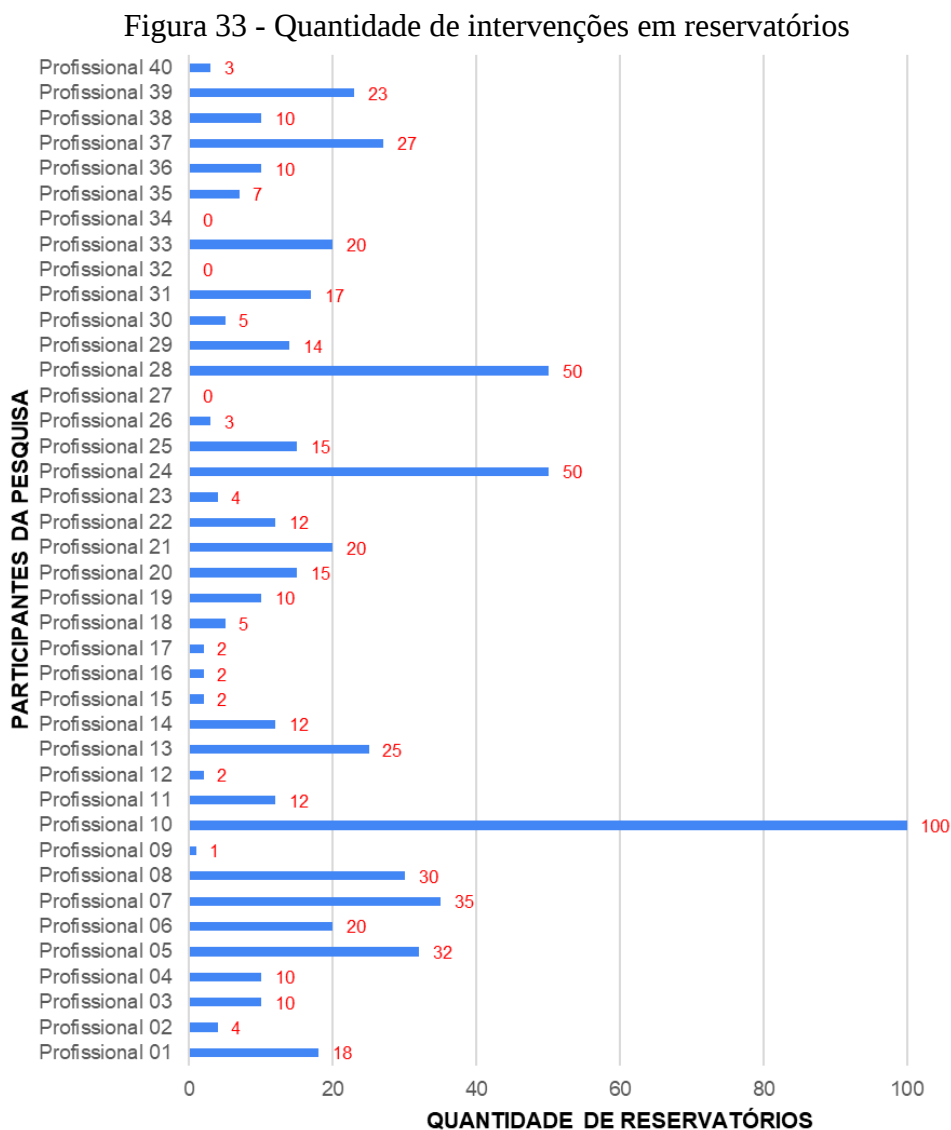
Tabela 18 - Região dos profissionais que participaram da pesquisa

ESTADO DE ATUAÇÃO	PROFISSIONAIS
Bahia	1
Ceará	1
Minas Gerais	4
Mato Grosso do Sul	1
Paraná	4
Pernambuco	1
Rio Grande do Sul	1
Tocantins	1
Santa Catarina	1
São Paulo	25

Fonte: Próprio autor (2022).

Os profissionais opinantes na pesquisa já atuaram em intervenções para execução da impermeabilização de 637 reservatórios de águas potáveis, conforme Figura 33, sob resultado da pergunta:

Pergunta 3: Sob análise anual, ou seja, nos últimos 12 meses, no histórico da empresa onde trabalha, quantos reservatórios atuou na revitalização do sistema de impermeabilização?



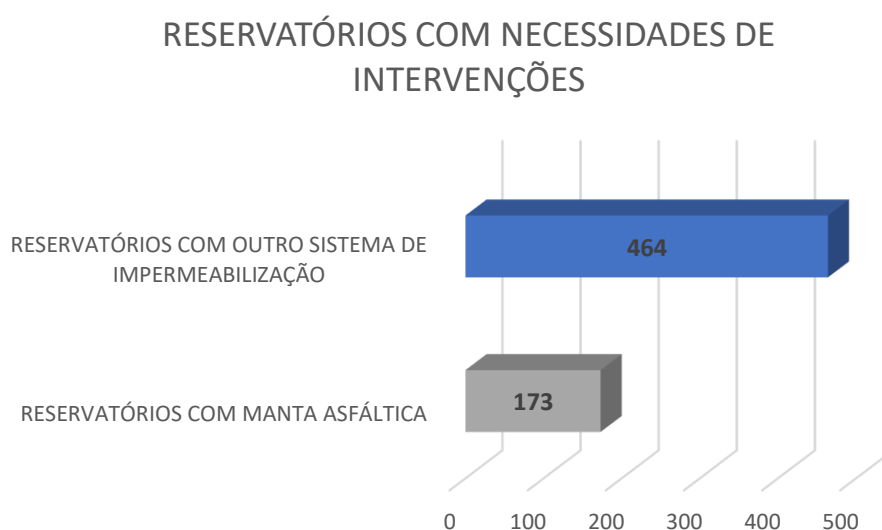
Fonte: Próprio autor (2022).

A pesquisa determina diretamente a área de atuação da dissertação, onde identifica pela pergunta a seguir, os reservatórios que necessitam de intervenção e o tipo de impermeabilização pré-existente, sendo que foram identificados cerca de 27% dos reservatórios com impermeabilização com manta asfáltica e 73% dos reservatórios impermeabilizados com outro sistema, como Manta de PVC, Impermeabilizantes cimentícios, etc., conforme Figura 34:

Pergunta 4: Baseado na quantidade de reservatórios que atuou nos últimos 12 meses, quantos reservatórios apresentavam, antes da execução dos serviços, sistema de impermeabilização com manta asfáltica?

A Figura 34 demonstra a quantidade de reservatórios relatados, bem como identificação do sistema de impermeabilização pré-existente, onde a área desta dissertação atua especificamente nos reservatórios com manta asfáltica, que serão substituídas por impermeabilizantes cimentícios:

Figura 34- Reservatórios com manifestações de vazamentos que necessitam de intervenção



Fonte: Próprio autor (2021).

Os reservatórios elencados sofreram a revitalização do sistema de impermeabilização, sendo que os novos sistemas de impermeabilização utilizados foram manta asfáltica, impermeabilizante cimentício e outros (Manta PVC, Membrana de Poliuretano, etc.). A Figura 35 demonstram os métodos que foram utilizados, bem como a proporção dos sistemas aplicados, baseando-se em 3 perguntas da pesquisa, sendo:

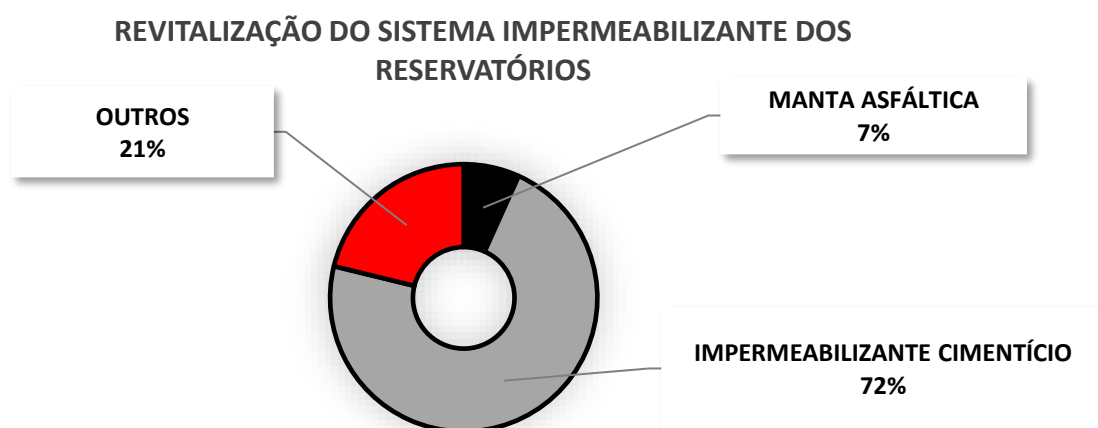
Pergunta 5: Baseado na quantidade de reservatórios que atuou nos últimos 12 meses, qual a porcentagem dos reservatórios que executou a revitalização com um novo sistema de impermeabilização com manta asfáltica?

Pergunta6: Baseado na quantidade de reservatórios que atuou nos últimos 12 meses, qual a porcentagem de reservatórios que executou revitalizando o sistema de

impermeabilização com impermeabilizante cimentício (Argamassa Polimérica; Membrana de Polímero acrílico com Cimento; etc.)?

Pergunta 7: Caso tenha impermeabilizado os reservatórios que atuou nos últimos 12 meses com outro sistema de impermeabilização, favor informar em %.

Figura 35 - Métodos utilizados para a revitalização do sistema de impermeabilização dos reservatórios



Fonte: Próprio autor (2021).

O sistema com impermeabilizante cimentício ultrapassa 72% do levantamento de métodos mais utilizados para impermeabilização de reservatórios, seguido de outros tipos de sistemas de impermeabilização (Manta PVC, Membrana de Poliuretano, etc.), com aproximadamente 21%, e por último, impermeabilização com manta asfáltica, com aproximadamente 7%, conforme Figura 35.

Para resolver o problema presente no cotidiano dos profissionais da área de impermeabilização, a pesquisa pelo Google Forms também analisou os métodos de ponte de aderência executados pelos profissionais, sendo mais utilizados aditivos promotores aderência para compósitos cimentícios disponíveis no mercado, como copolímero vinílico, aditivos acrílicos, aditivo de polímero sintético SBR (Emulsão estireno-butadieno) ou membranas aderentes em qualquer tipo de superfície, com membranas epoxídicas.

3.2 Materiais

Para o preparo dos substratos padronizados, foi utilizada uma mistura de material de Grout da Denver, com consistência fluída, próprio para baixas espessuras, de alta resistência inicial, composta por cimento, agregados graúdos e miúdos especiais, com as especificações

conforme Tabela 19. Também, foi utilizado um desmoldante de emulsão de ácidos graxos da Vedacit, com densidade de 1g/cm³, com pH entre 3 e 4, classificado como biodegradável, primer de base química de emulsão asfáltica, com tonalidade de marrom escuro, densidade de 1,00 g/cm³, com VOC (Compostos Orgânicos Voláteis) 16,5 g/l e com a viscosidade < que 80s, uma barra de asfalto, com densidade de 0,97 a 1,03 g/cm³, com ponto de amolecimento de 75° a 95° e com ponto de penetração de 25-35 dmm, cimento Portland CPIII 40-RS, areia média seca em estufa e água da rede pública de abastecimento da cidade de São Paulo.

Foram usados como agentes de compatibilização:

- a) Primer epóxi para bases úmidas, tricomponentes de reação exotérmica, com componente base, componente catalizador e componente em pó para incorporação de espessura;
- b) Emulsão estireno-butadieno (SBR), com teor de sólidos 15% +/- 2, com densidade de 1 g/cm³;
- c) Copolímero Vinílico nas placas F e G, com teor de sólidos de 11% +/- 2, com densidade de 1,02 g/cm³; e
- d) Emulsão à base de Acrílico nas placas H e I, com teor de sólidos 15% +/- 2, com densidade de 1,01 g/cm³.

Tabela 19 - Ficha Técnica do DENVERGROUT

ENSAIO		ESTIMATIVA DE RESULTADOS		
Composição Básica		<i>Agregados, cimentos e aditivos.</i>		
Consistência		<i>Seca Tipo Shim*</i>	<i>Fluída</i>	<i>Muito Fluída</i>
Espalhamento - mm		-	130 a 180	180 a 200
Fator água/pó		0,1	0,11	0,12
Resistência à compressão - MPa (NBR 5739)	24 horas	15		
	7 dias	30		
	28 dias	45		
Tempo de expansão		15 min. À 2horas		
Tempo de aplicação		20 Minutos		

Fonte: Adaptado de (DENVER, 2020)

3.2.1 Equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados no processo de execução dos ensaios, desde a concepção da placa até o resultado final foram:

1. Trincha de 2" para aplicação do desmoldante;
2. Betoneira elétrica de 400 litros para realização da mistura do microconcreto estrutural;

3. Escova com cerdas de aço para raspagem dos materiais;
4. Brochas quadradas para aplicação da ponte de aderência e os impermeabilizantes de matrizes cimentícias;
5. Furadeira de mesa com broca serra copo de 53mm de diâmetro, sem a ponta guia, para a execução do corte do impermeabilizante final até a placa padronizada;
6. Pastilhas metálicas de diâmetro de 50mm, com posterior aderência com resina epoxídica, para realização do ensaio com o dinamômetro; e
7. Dinamômetro digital tripé para medição da resistência de tração da aderência.

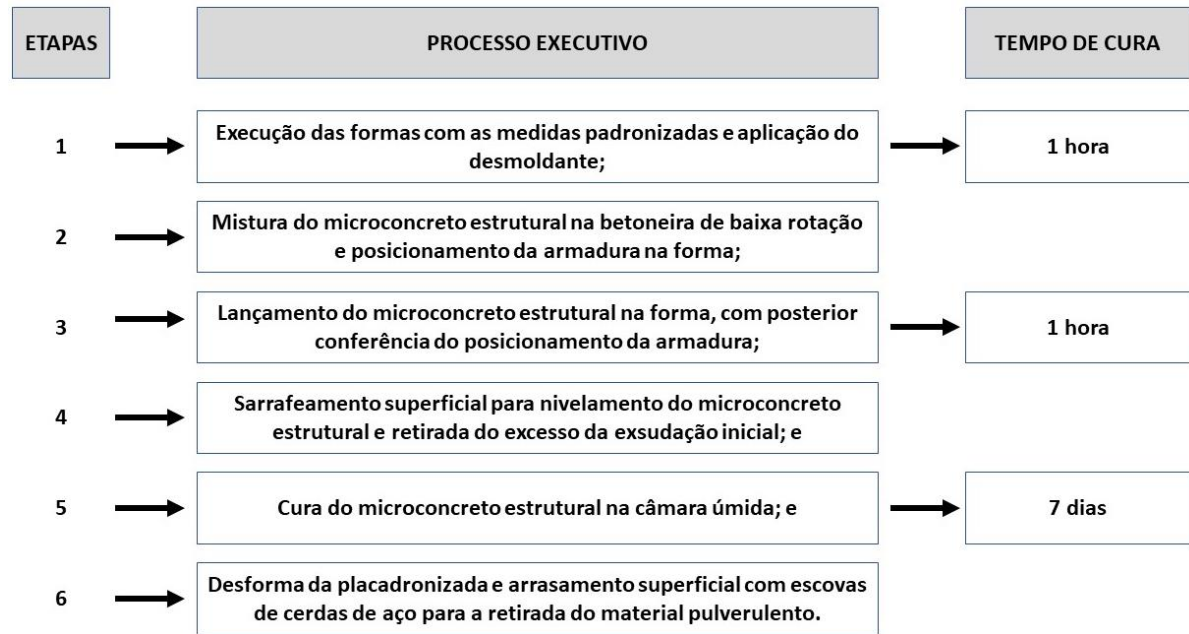
3.3 Metodologia do trabalho

3.3.1 Preparo do Substrato

De modo a simular um substrato real de reservatórios de empreendimentos, que são compostos de concreto armado (paredes, piso e teto) para suportar as tensões dinâmicas exercidas pelo peso próprio da estrutura, peso da água armazenada e as ações de esvaziamento/enchimento durante períodos de manutenção (LAUAND, 2003), foi utilizado microconcreto estrutural. O substrato tem como base matriz cimentícia, executada com a utilização microconcreto estrutural, com características químicas polares, simulando o substrato real. O fluxograma apresentando na Figura 36 demonstra a metodologia adota para a execução da placa padronizada.

A ficha técnica emitida pelo fabricante, orienta que a utilização do microconcreto estrutural é destinada para recuperação estrutural, ancoragem de equipamentos, reparos em elemento de concreto pré-fabricados, desde que a espessura seja limitada até 60mm, atendendo aos requisitos de estudo, conforme Figura 37, onde a placa padronizada tem espessura de 30 mm (DENVER, 2020, 2021). As placas padronizadas estão dentro das dimensões dos substratos padrões, sendo de 250 x 500 x 30mm, conforme Figura 37 e orientado pela norma vigente (ABNT 14081-2, 2015).

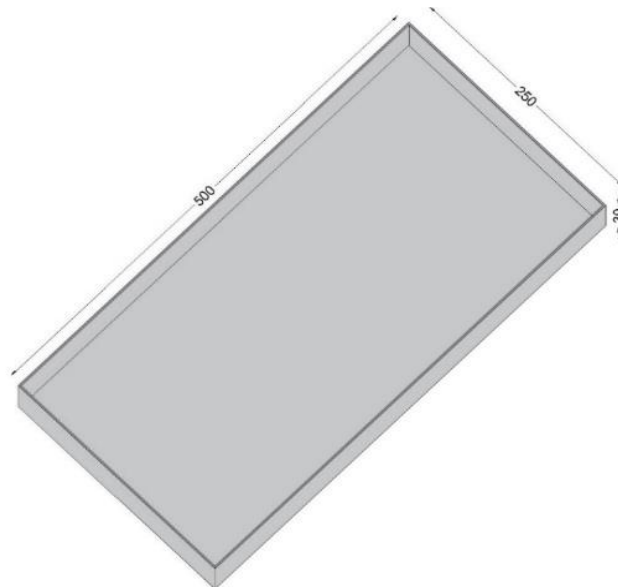
Figura 36 - Organograma da execução da placa padronizada



Fonte: Próprio autor (2021).

Durante o processo de execução das placas padronizadas, foi adotada a consistência Fluída, com fator de água/pó de 0,11, ou seja, para cada saco de DENVERGROUT foram utilizados 2,8 L de água por saco do microconcreto, conforme especificado na ficha técnica do fabricante. Ainda, o fabricante determina o tempo máximo para a aplicação do DENVERGROUT seja de 20 minutos, a partir do ato da mistura da água com o compósito cimentício, período em que se inicia o processo das reações químicas de hidratação.

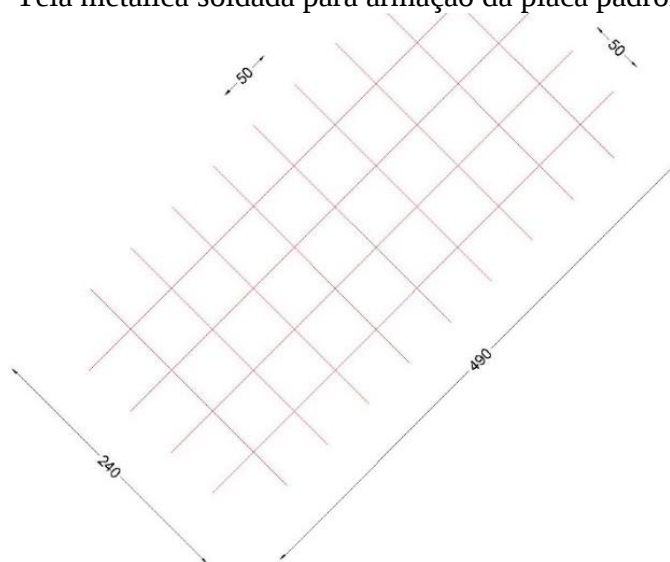
Figura 37 - Forma da placa padronizada (mm)



Fonte: Próprio autor (2021).

As placas padronizadas possuem armadura para dissipação de tensões, quando exigidas, sendo armadura com formato de tela, com fios de 2,5 mm e espaçamento entre fios de 50 mm, com dimensões inferiores aos da forma, para garantir cobrimento, ou seja, 240 mm x 490 mm, conforme a orientação da norma vigente (ABNT 14081-2, 2015) e demonstrado na Figura 38.

Figura 38 - Tela metálica soldada para armação da placa padronizada (mm)



Fonte: Próprio autor (2021).

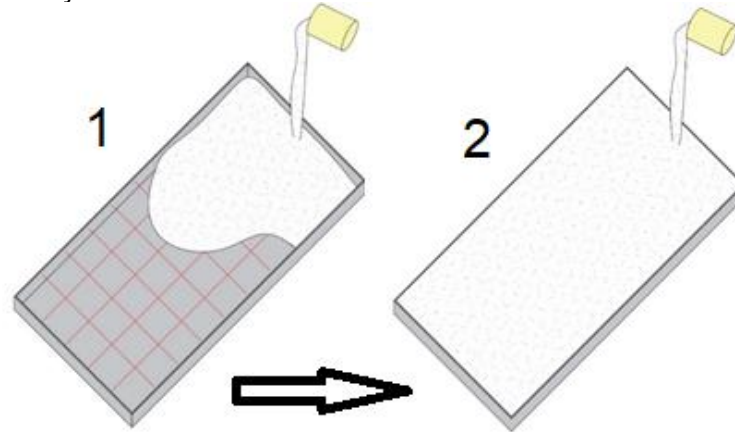
As formas são compostas por compensados de madeira com espessuras de 3 mm, auto travadas com cantoneiras coladas, de modo a evitar qualquer movimentação durante a execução das placas padronizadas e seladas com selante de poliuretano preto, para evitar qualquer tipo de vazamentos nos vãos das formas.

Para o reaproveitamento das formas, durante a produção das placas padronizadas, foram utilizadas desmoldantes nas formas, com diluição em volume de 1:5 (desmoldante:água), com mistura manual lenta até a homogeneização do produto para aplicação. Assim que aplicado o desmoldante, deve-se aguardar a cura do produto de no mínimo 1 hora, para iniciar a concretagem ou groutamento. O desmoldante não influencia nos ensaios, pois estão impregnados na porosidade lateral e nos fundos da placa padronizada, fora da região do ensaio, ou seja, a ancoragem do material será diretamente na face superior, sem o desmoldante.

Após a execução da aplicação do desmoldante sobre a forma e à espera da cura, posiciona-se a tela e lança-se o microconcreto estrutural, devido as características fluídas, se torna autoadensável.

Após a cura do desmoldante aplicado na forma, o posicionamento da armadura e a mistura realizada do microconcreto estrutural, inicia-se o lançamento do microconcreto estrutural na forma, conforme Figura 39.

Figura 39 - Lançamento do microconcreto estrutural sobre a forma e armaduras.



Fonte: Próprio autor (2021).

As placas padronizadas foram desmoldadas em um período mínimo de 3 dias, com resistência estimada pelo fabricante de 15 MPa, e são consideradas totalmente resistentes para receber a aplicação dos produtos de ações posteriores, com uma idade mínima de 07 dias, obtendo uma resistência estimada de 30 MPa. O procedimento de todo o processo pode ser visto na Figura 40.

Figura 40 - Procedimento de processo de preparo do substrato padrão.

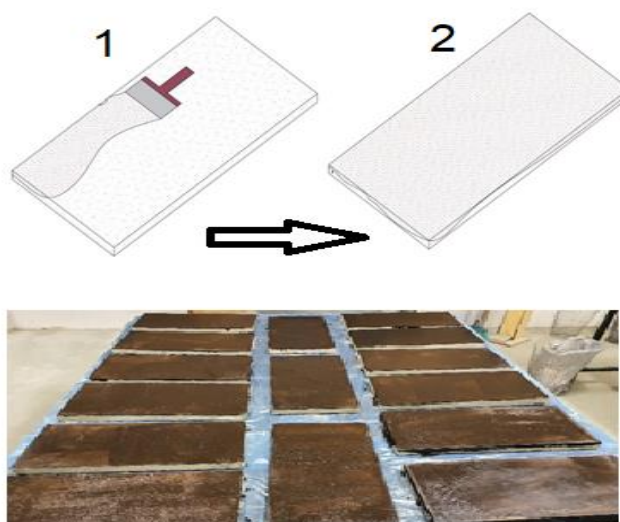


Fonte: Próprio Autor (2021).

3.3.2 Aplicação da emulsão asfáltica

Após a cura do substrato mínima de 15 dias, aplicar a emulsão asfáltica, uma demão, com rolo ou pincel ou broxa, conforme exigido pela norma de execução de sistema de impermeabilização (ABNT, 2008), conforme Figura 41, sob cura de no mínimo 24h. O substrato representará o substrato saturado com emulsão asfáltica, presente das condições reais de intervenção para revitalização do sistema de impermeabilização.

Figura 41 - Aplicação da emulsão asfáltica sobre a placa padronizada

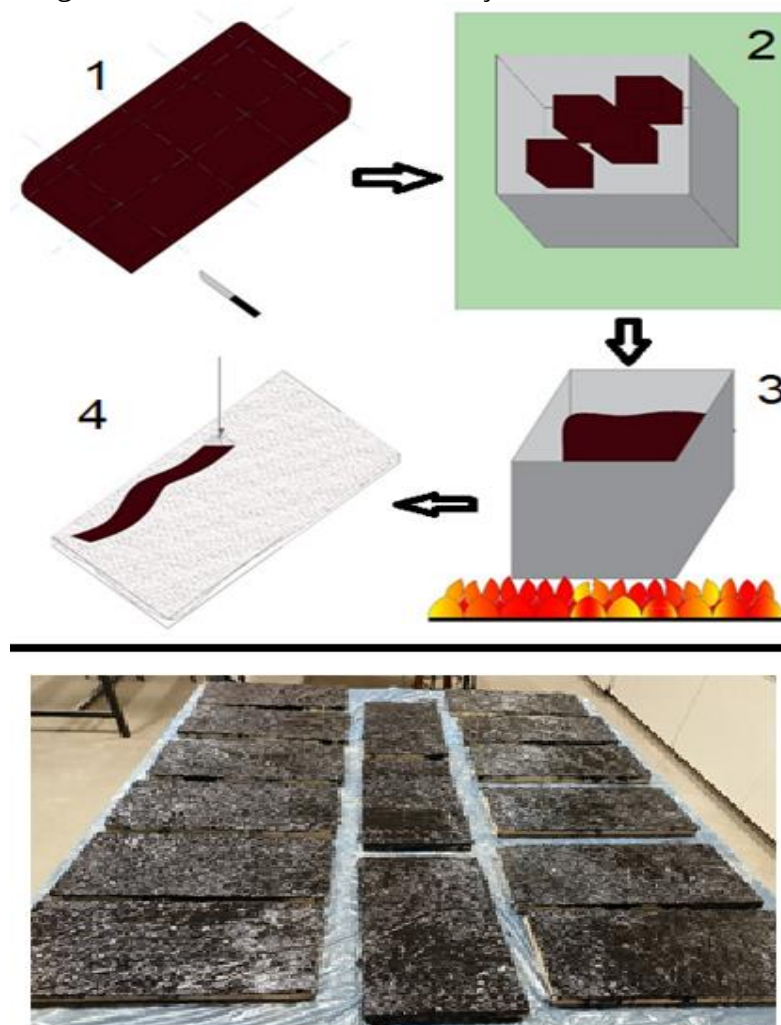


Fonte: Próprio autor (2021).

3.3.3 Aplicação da massa asfáltica

A próxima etapa é a aplicação de uma camada de massa asfáltica nos substratos, simulando o pior cenário onde o mesmo esteja saturado com massa asfáltica. O procedimento de execução será a abertura da barra de asfáltica (V-BARRA), com cortes da barra em vários pedaços e alocados em um recipiente que possua resistência a altas temperaturas, em seguida o recipiente será aquecido a uma temperatura entre 180°C a 200°C, derretendo a barra asfáltica, e será montada uma vassoura com cabo de madeira e com meada de fios de tecido resistente a altas temperaturas, assim aplicando o asfalto sobre a barra (Figura 42). Após a aplicação do asfalto em toda a barra, esperar o tempo de resfriamento mínimo de 24 horas.

Figura 42 - Procedimento de execução da barra de asfalto.



Fonte: Próprio Autor (2022).

3.3.4 Produtos testados como agentes compatibilizantes

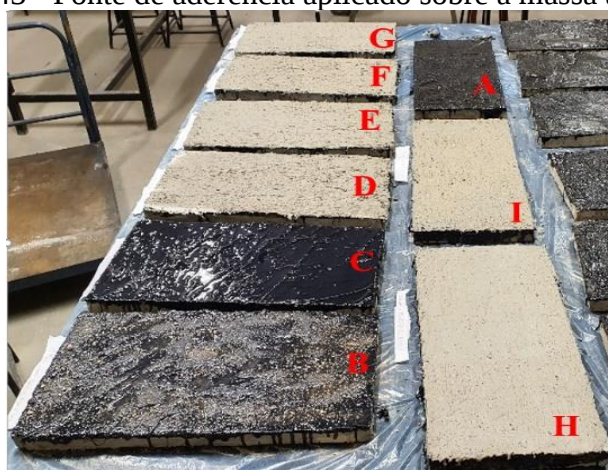
Em total, foram utilizadas 9 placas padronizadas ensaiadas em laboratório, seguindo todos os processos supracitados, sendo uma placa referência sem a aplicação da ponte de aderência e as demais aplicando 4 produtos diferentes na ponte de aderência com duas concentrações diferentes, onde foram testados a eficácia da aderência, sendo a interface de contato entre o impermeabilizante cimentício e a massa asfáltica, conforme demonstrados nas camadas da Figura 29.

As variações encontradas nos ensaios são as mudanças dos aditivos, bem como a concentração dos mesmos, onde cada aditivo terá uma placa para cada variação de concentração e cada placa teve 5 ensaios de resistência de tração na aderência, após o sistema esteja totalmente aplicado e totalmente curado.

Após a aplicação e cura do compósito cimentício aditivado, foi aplicado o sistema impermeabilizante de matriz cimentícia, com 2 demão cruzadas de Argamassa Polimérica (ABNT, 2015) e 4 demãos cruzadas de Membrana de Polímero Acrílico com Cimento (ABNT, 2010), respeitando a cura mínima entre as demãos, conforme orientação do fabricante.

As placas estão nomeadas na Figura 43 de maneira a identificar a ponte de aderência utilizada no processo de aplicação dos materiais e ensaios, conforme demonstrado na Tabela 20.

Figura 43 - Ponte de aderência aplicado sobre a massa asfáltica.



Fonte: Próprio autor (2022).

Tabela 20 - Controle das placas e aplicação dos produtos

PLACA	ADITIVO	Código de Placa	TRAÇO (VOLUME)			
			Cimento	Areia	Aditivo	Água
A	REFERÊNCIA	A - REF	Aplicação dos impermeabilizantes cimentícios sobre a Massa Asfáltica			
B	PRIMER EPÓXI	B - EPÓXI 1	1 Demão + Aspersão de Areia			
C	PRIMER EPÓXI	C - EPÓXI 2	2 Demão + Aspersão de Areia			
D	COPOLÍMERO VINÍLICO	D - VINÍLICO-0,25	1	, 1	, 0,25	, 0,25
E	COPOLÍMERO VINÍLICO	E - VINÍLICO-0,50	1	, 1	, 0,5	, 0
F	SBR	F - SBR-0,25	1	, 1	, 0,25	, 0,25
G	SBR	G - SBR-0,50	1	, 1	, 0,5	, 0
H	ACRÍLICO	H - ACRÍLICO-0,25	1	, 1	, 0,25	, 0,25
I	ACRÍLICO	I - ACRÍLICO-0,50	1	, 1	, 0,5	, 0

Fonte: Próprio autor (2022).

O sistema de impermeabilização (Figura 44) foi aplicado em camadas, sobre a ponte de aderência, na seguinte sequência:

1. Duas demãos de Argamassa Polimérica;
2. Duas demãos de Membrana de Polímero Acrílico com Cimento.
3. Duas demãos de Membrana de Polímero Acrílico com Cimento aditivado com fibras.

Figura 44 - Processo de aplicação do impermeabilizante

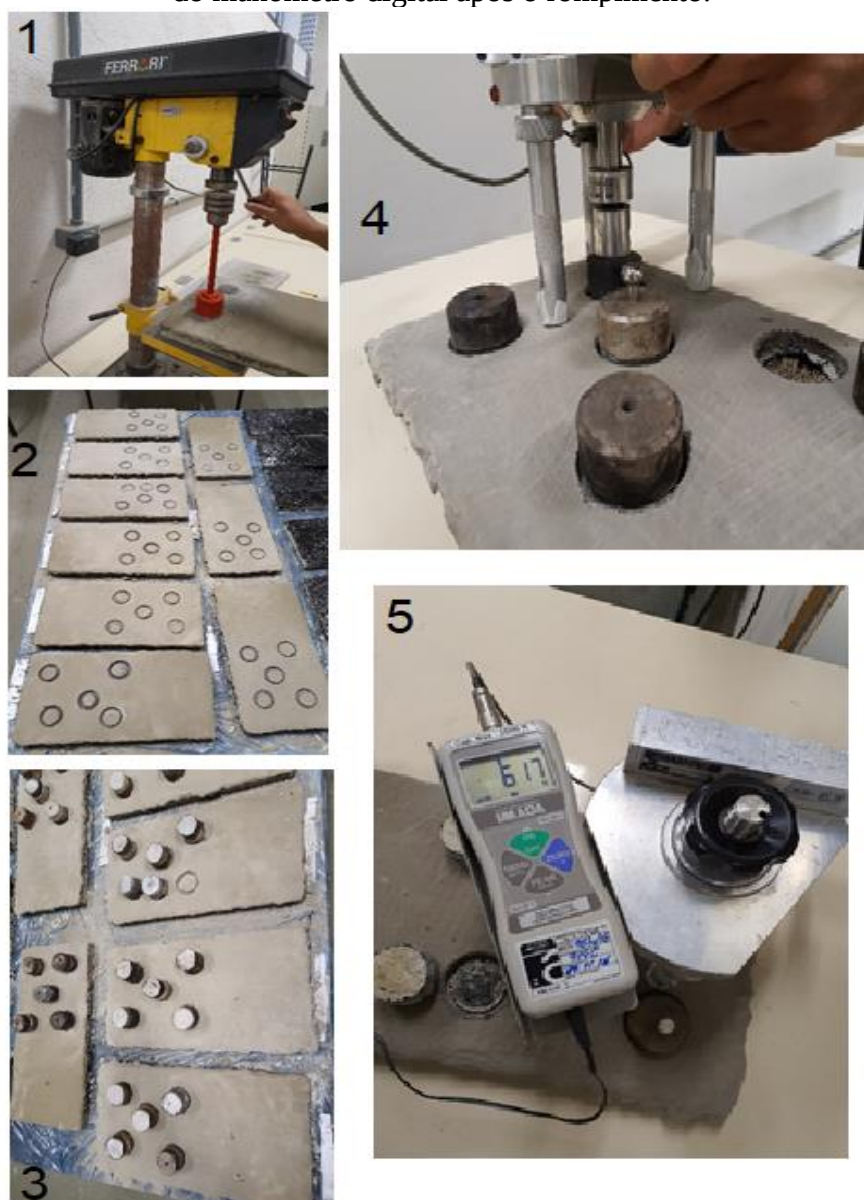


Fonte: Próprio Autor (2022).

3.3.5 Ensaio de resistência de tração na aderência

Após a cura de todos os materiais aplicados, as placas padronizadas foram posicionadas na bancada da furadeira de mesa com um broca serra copo, de modo a garantir a perfuração de todas as camadas aplicadas de forma íntegra e padronizada (Figura 45), deixando o diâmetro interno exato para que as pastilhas do ensaio de aderência sejam coladas com resina epóxi, para posterior ensaio de resistência de tração na aderência com o dinamômetro (Figura 45).

Figura 45 - Ensaio de resistência de tração na aderência: Procedimento de encaixe e Leitura do manômetro digital após o rompimento.



Fonte: Próprio autor (2022).

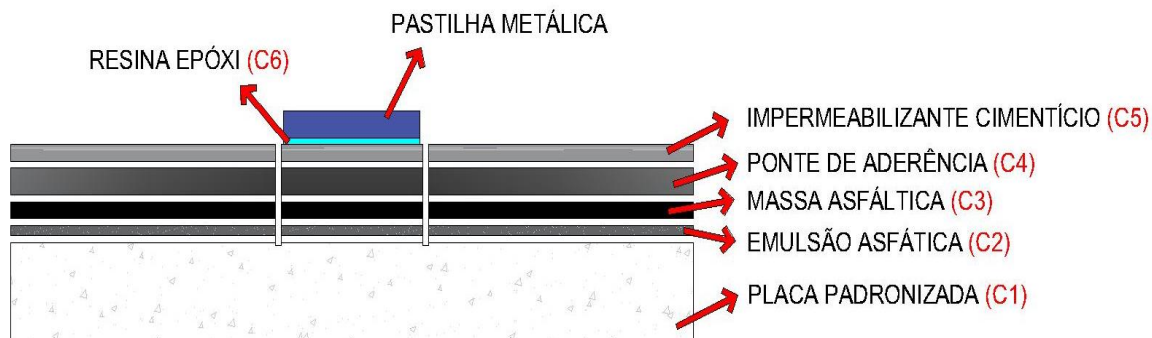
Para melhor simular as condições reais de um reservatório, este ensaio será realizado com as placas secas com todas as camadas curadas e após a imersão em água por 3 dias, simulando a água existente no reservatório.

3.3.6 Análise das camadas na ruptura

As análises dos ensaios reproduzidos na Figura 45 como objetivo determinar a resistência da tração a aderência das camadas separadas pelo corte da serra copo, sendo testada pela pastilha aderida com resina epóxi na última camada do sistema de impermeabilização cimentício.

A análise do local de ruptura se torna essencial para a definição do comportamento de todo o sistema frente ao ensaio de aderências e comparativo com os valores definidos pelas normas vigentes. A Figura 46 determina as 6 camadas existentes nos testes, de C1 a C6, descrevendo nos resultados dos ensaios a camada que se rompeu durante o teste.

Figura 46 - Camadas testadas no ensaio da resistência de tração na aderência.



Fonte: Próprio Autor (2022).

3.3.7 Ângulo de contato

O experimento de ângulo de contato foi realizado para avaliar a molhabilidade das amostras, tornando-se referência as análises dos artigos (ABOELKHEIR et al., 2021; LUZ; LIMA, 2007). O ensaio verifica o ângulo de uma gota d'água em uma determinada superfície. E a partir dessa resposta, é possível analisar a polaridade da superfície estudada.

O ângulo de contato será medido através do equipamento analisador de forma de gota Krüss modelo DSA 100 (Figura 47). As amostras serão preparadas e espalhadas em uma superfície plana e secas em estufas, para que haja concentração dos produtos. Para o ensaio foi utilizada água destilada para as análises.

A água deionizada será utilizada como solvente neste procedimento por ser uma substância polar conhecida. Quanto maior o ângulo da gota d'água em relação a superfície, maior a diferença de polaridade entre elas, ou seja, a superfície possui baixa polaridade (material hidrofóbico).

Figura 47 - Analisador de forma de gota Krüss modelo DSA 100.



Fonte: Próprio autor (2022).

As camadas a serem analisadas são interfaces e produtos de aderência primordiais para o desempenho do sistema durante a funcionalidade, sendo a Figura 48 demonstrando todas as camadas do sistema, onde a camada C3 com a interface com camada C2; apenas a camada C3; camada C4 (argamassa com agente compatibilizante); e apenas os agentes compatibilizantes.

Figura 48 - Análise das camadas com ângulo de contato.



Fonte: Próprio autor (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resistência à tração na aderência sem imersão

Os dados da resistência à tração na aderência para todas as placas com e sem agentes de compatibilização são apresentados na Tabela 21. As médias das leituras de cada placa estão acompanhados com os respectivos desvios padrão, limite de confiança de 95% e o coeficiente de variação entre as leituras. A resistência de tração na aderência de asfalto/manta, segundo a NBR 15.575-5 é de 0,2 MPa, já os impermeabilizantes cimentícios possuem exigências de resistências de 0,5 MPa, sendo os parâmetros normativos para a análise direta (ABNT, 2015, ABNT, 2013, ABNT, 2010). Este limite de resistência foi o principal parâmetro de comparação entre todas as placas contendo os agentes de compatibilização.

Tabela 21 - Resistência à tração na aderência para as placas com agentes compatibilizantes sem imersão.

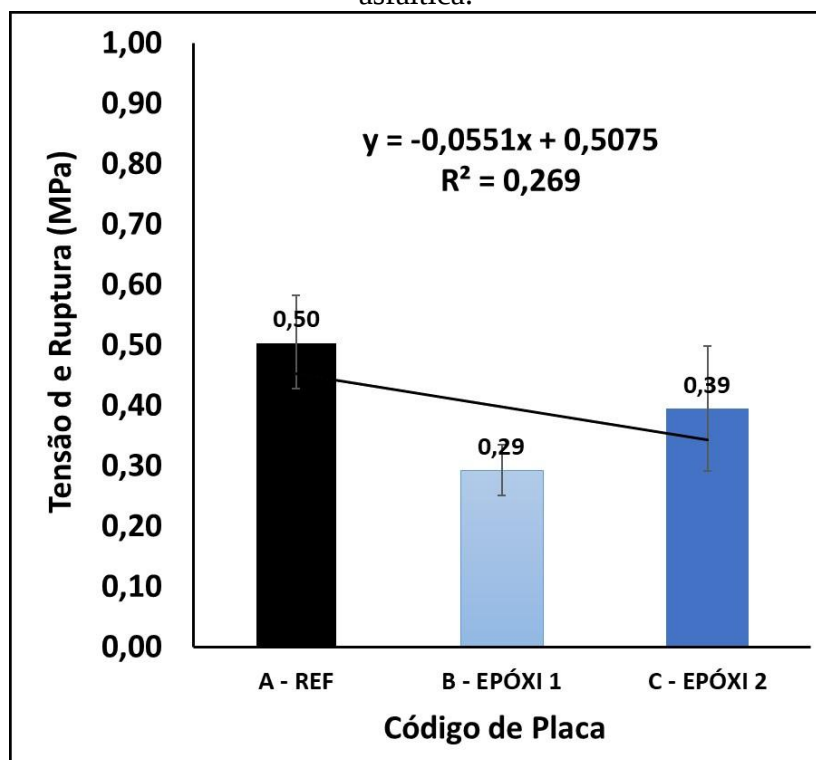
Código de Placa	PAST. 01	PAST. 02	PAST. 03	Tensão de Ruptura Média (MPa)	Des. Padrão (MPa)	IC 95%	Coef. Var. %
A - REF	0,46	0,46	0,59	0,50	0,08	0,14	15,18
B - EPÓXI 1	0,29	0,34	0,25	0,29	0,04	0,08	14,28
C - EPÓXI 2	0,50	0,38	0,30	0,39	0,10	0,19	26,33
D - VINÍLICO-0,25	0,50	0,35	0,38	0,41	0,08	0,14	18,92
E - VINÍLICO-0,50	0,70	0,59	0,76	0,68	0,08	0,15	12,29
F - SBR-0,25	0,49	0,48	0,44	0,47	0,03	0,05	5,44
G - SBR-0,50	0,54	0,62	0,59	0,58	0,04	0,07	6,65
H - ACRÍLICO-0,25	0,47	0,72	0,63	0,61	0,13	0,23	20,89
I - ACRÍLICO-0,50	0,79	0,78	0,77	0,78	0,01	0,02	1,24

Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 49 apresenta a comparação dos ensaios das placas A (referência) com o desempenho nos testes das placas com primer epóxi B e C, com uma demão e duas demãos, respectivamente, sobre a influência na aderência sobre a massa asfáltica. É possível notar um decaimento no valor da resistência à tração na aderência em até 42% com o uso do epóxi, onde as placas B e C atingiram resistências de 0,29 e 0,39 MPa, respectivamente, desclassificando as mesmas para a tal aplicação. Ainda, este decaimento não segue uma boa linearidade, já que o modelo linear aplicado possui um valor de $R^2 = 0,269$. Este resultado reflete que o epóxi não

foi sucedido no quesito de criação de fortes pontes de aderência entre a matriz cimentícia do impermeabilizante e o substrato saturado com a massa asfáltica.

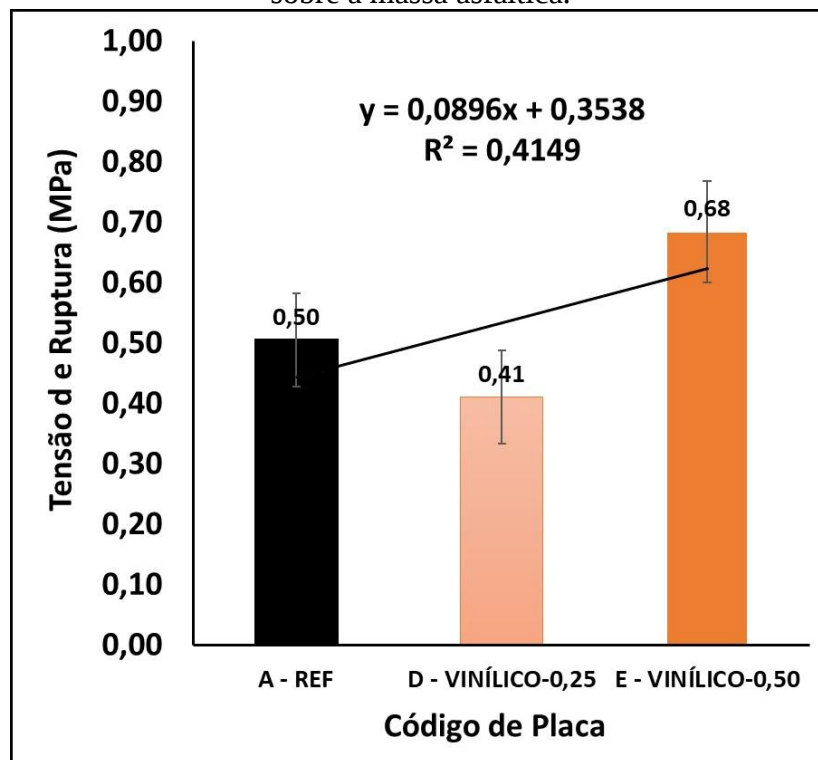
Figura 49 – Influência da adição de epóxi na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.



Fonte: Próprio Autor (2022).

Já a Figura 50 apresenta a comparação das resistências à tração na aderência entre as placas A, D e E, com a adição do poli vinílico como agente de compatibilização em duas concentrações. Para a placa D, com menor concentração do vinílico, a resistência foi 0,41 MPa atingindo 18% a menos se comparada com a placa REF. Já para a placa E, com maior concentração do vinílico, a resistência aumentou 36% mais que a REF, atingindo 0,68 MPa. O comportamento das respostas com a adição do vinílico, comparado com a REF, não mostra uma linearidade interessante atingindo um valor de $R^2 = 0,415$. Assim, a placa E (Vinílico-0,50) se destaca com o melhor resultado na sua categoria com a adição do vinílico para a criação de fortes pontes de aderência.

Figura 50 - Influência da adição de Copolímero Vinílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.

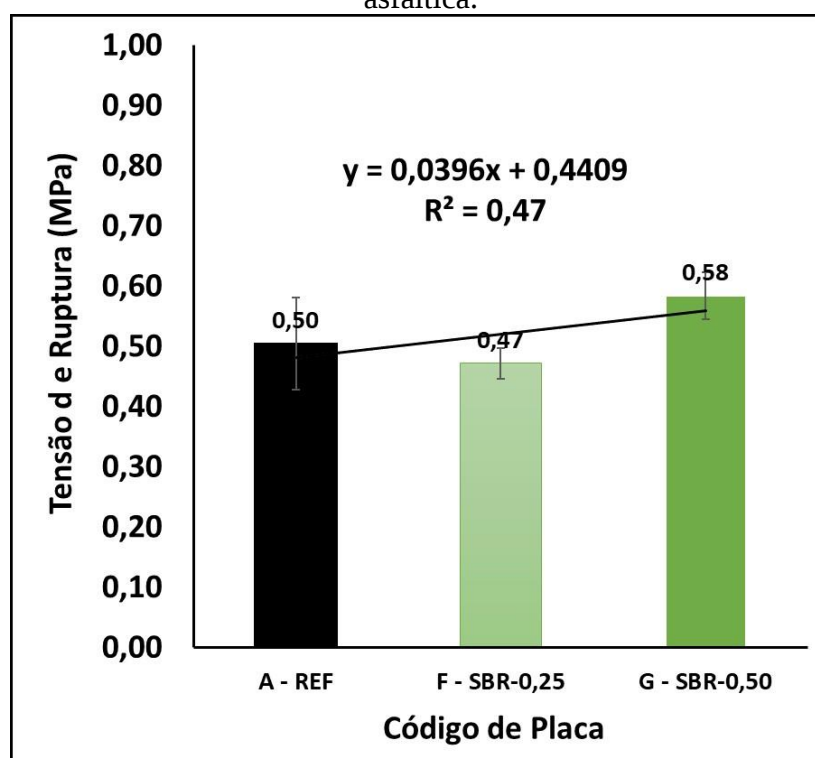


Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 51 apresenta a comparação dos ensaios das placas A (referência) com o desempenho nos testes das placas com SBR em duas concentrações. As placas F e G apresentaram um comportamento similar às placas D e E, da categoria anterior, quando se trata da queda e aumento na resistência à tração na aderência, quando comparando todas elas com a placa REF. Do mesmo modo que a placa D, com menor concentração do vinílico, apresentou um decaimento na resistência, a placa F, também de menor concentração de SBR, mostrou decaimento e não atingindo o limite exigido pela norma. Para o outro lado, a placa G apresentou um aumento maior que a placa REF em 16%, atingindo um valor de resistência = 0,58 MPa.

Similarmente, o comportamento da linearidade das respostas com a adição do SBR, comparado com a REF, não mostra uma linearidade alta atingindo um valor de $R^2 = 0,47$. Assim, a placa G (SBR-0,50) se destaca com o melhor resultado na sua categoria com a adição do SBR para a criação de pontes de aderência consideráveis.

Figura 51 - Influência da adição de SBR na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.

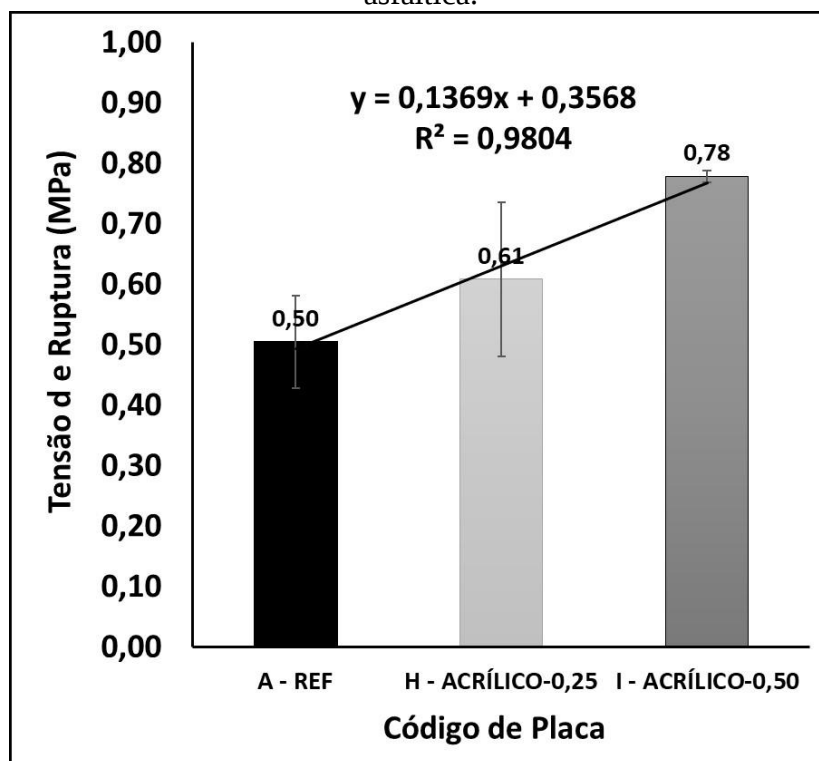


Fonte: Próprio autor (2022).

Finalmente, a Figura 52 apresenta a comparação das resistências à tração na aderência entre as placas A, H e I, com a adição da emulsão à base de acrílico como agente de compatibilização em duas concentrações. Para ambas as placas H e I, foram atingidos maiores valores na resistência à tração na aderência, se comparadas com a placa REF, em 22% e 56%, respectivamente. A placa H apresentou uma resistência de 0,61 MPa, enquanto a placa I apresentou um valor de 0,78 MPa. Assim, ambas as placas atendem a exigência mínima da norma que é ter uma resistência superior a 0,5 MPa. Interessantemente, nesta categoria de aditivos, o comportamento das respostas apresentou uma grande linearidade cuja $R^2 = 0,98$.

Mesmo que a placa H (Acrílico-0,25) apresenta uma média de resistência superior a da placa REF, ela ainda apresenta uma grande dispersão entre os resultados atingindo um coeficiente de variação (CoV) entre as respostas igual a 20,89%. Por outro lado, o coeficiente da variação no caso da placa I (Acrílico-0,25) foi o menor entre todas as placas, cujo valor = 1,24%. Mais uma vez, a placa com a maior concentração de aditivo se destaca pelo melhor e mais alto resultado na sua categoria.

Figura 52 - Influência da adição de acrílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.



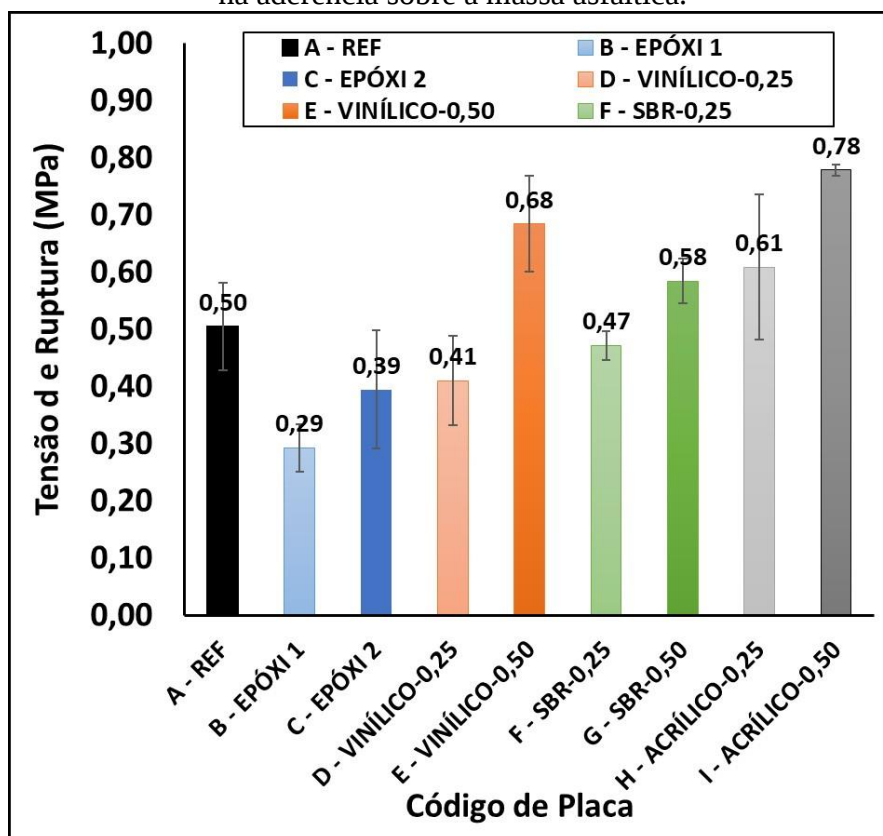
Fonte: Próprio autor (2022).

Na Figura 53, é possível observar a representação gráfica da resposta da resistência à tração na aderência para todas as categorias supracitadas, demonstrando as possíveis variações nos resultados. É possível notar que as misturas com o aditivo à base do acrílico apresentaram o melhor e mais alto resultado, enquanto as misturas com epóxi apresentaram o contrário disto.

Todas as misturas tiveram um aumento no valor da resistência quando a concentração do aditivo é aumentada. Apenas as placas E (Vinílico-0,50), G (SBR-0,50), H (Acrílico-0,25) e I (Acrílico-0,50) obtiveram médias de resistências maiores que 0,50 MPa, atendendo assim a exigência mínima da norma vigente, e maiores que a placa REF em 36%, 16%, 22% e 56%, respectivamente. O resto das placas foi considerado reprovado. Portanto, a influência no desempenho na aderência do compósito sobre a massa asfáltica está diretamente ligada ao tipo de agente compatibilizante, bem como a sua concentração.

Analisando o parâmetro inicial de aderência da massa asfáltica sobre o substrato, que exige parâmetro mínimo de 0,2 MPa, todos os ensaios atenderam ao especificado, garantindo aderência mínima superior ao especificado.

Figura 53 - Influência da adição de diversos agentes compatibilizantes na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica.



Fonte: Próprio autor (2022).

4.2 Análise das camadas na ruptura

A análise de ruptura das camadas e a interface de ruptura demonstra a dissipação de tensão, com a aplicação de tensão de arrancamento da pastilha metálica dissipada por todas as camadas, rompendo o elo mais frágil.

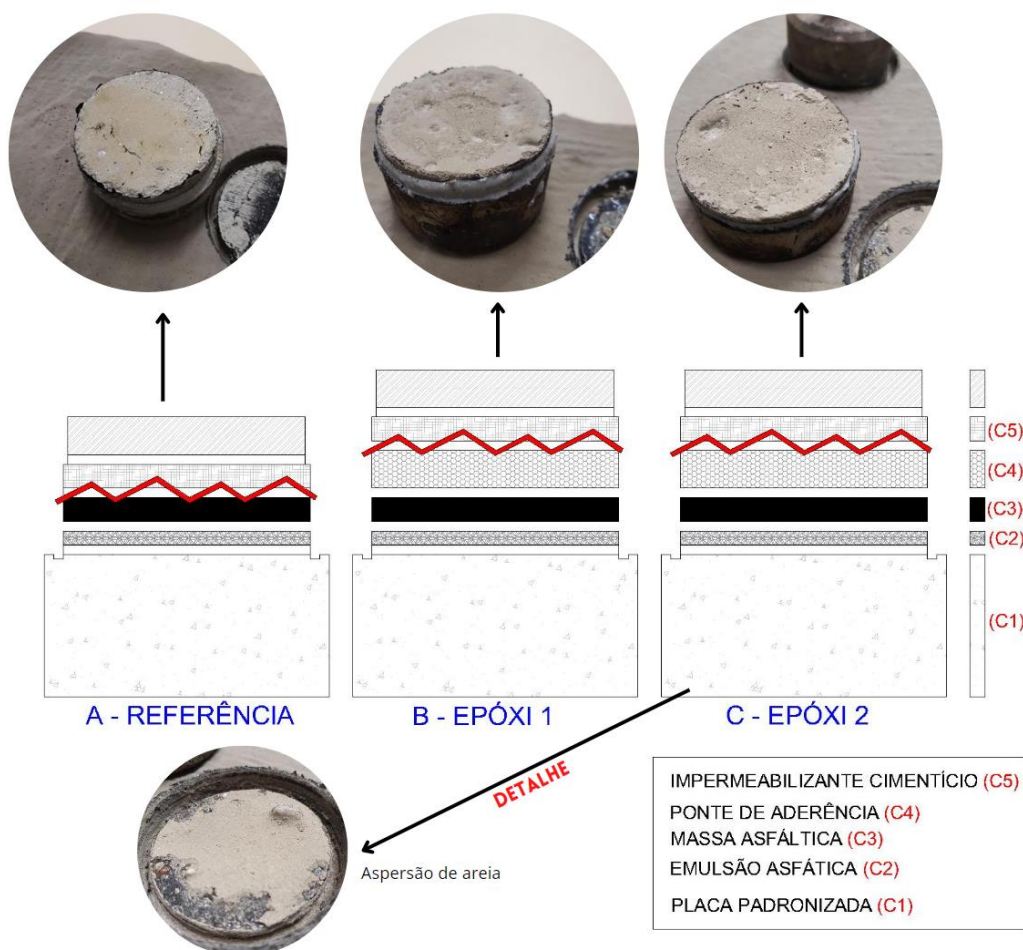
A Figura 46 será tomada como base para realizar a análise das camadas na ruptura para definir em qual camada aconteceu a ruptura da amostra de maior resistência de tração na aderência.

A Figura 54 demonstra a análise de camadas das placas REFERÊNCIA, EPÓXI 1 e EPÓXI 2, onde a representação de ruptura demonstra mais frágil sob a análise de maior esforço, sendo que neste caso a REFERÊNCIA entre o impermeabilizante cimentício e a massa asfáltica; EPÓXI 1 e EPÓXI 2 entre a ponte de aderência com agente compatibilizante e o impermeabilizante cimentício.

Se correlacionar a análise das camadas de ruptura da Figura 54, como objeto as placas com o agente EPÓXI, mesmo com o aumento de resistência de tração na aderência perceptível

demonstrado na Figura 53, o impermeabilizante cimentício não teve aderência total ao agente compatibilizante de modo a transmitir os esforços de tensão.

Figura 54 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; EPÓXI 1 e EPÓXI 2



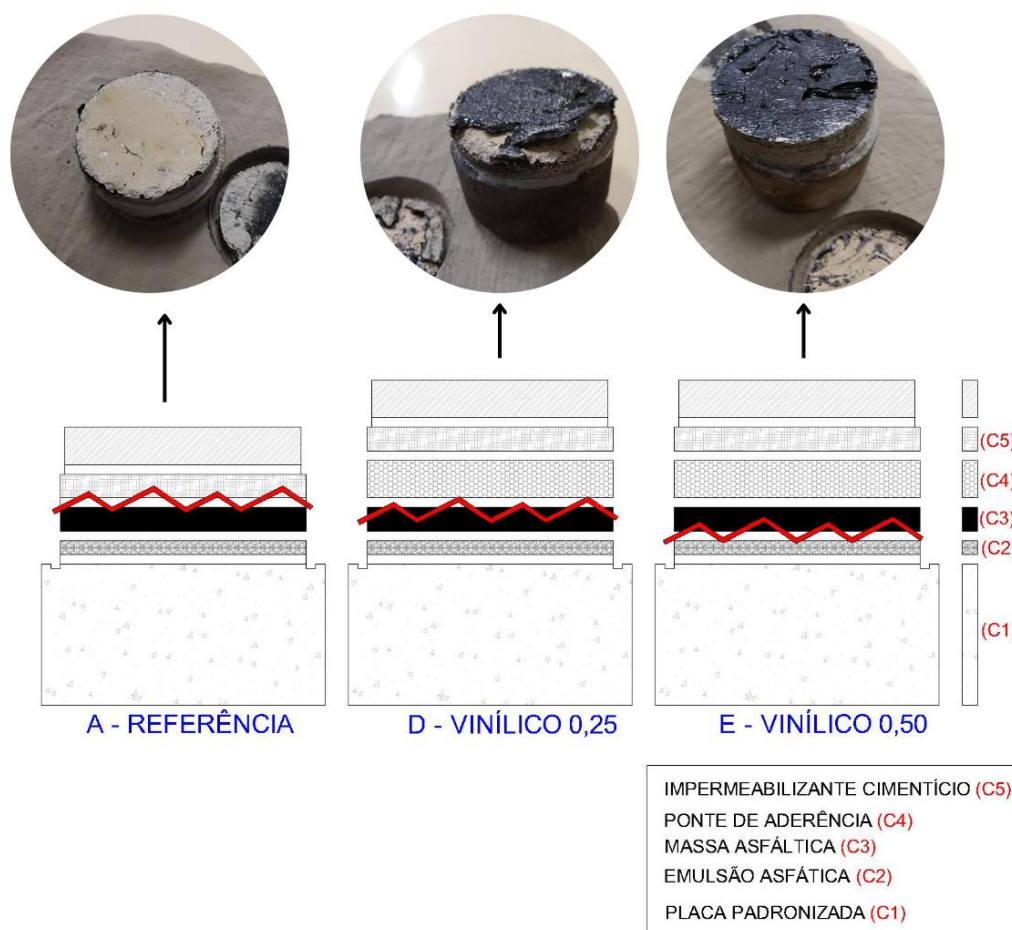
Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 55 expressa a análise de camadas das placas REFERÊNCIA, VINILICO 0,25 e VINILICO 0,50, onde a representação de ruptura demonstra mais frágil sob a análise de maior esforço, sendo que neste caso a REFERÊNCIA entre o impermeabilizante cimentício e a massa asfáltica; VINILICO 0,25 com ruptura na massa asfáltica e VINILICO 0,50 com ruptura entre a emulsão asfáltica e a massa asfáltica.

A análise da correlação da Figura 55, como objeto as placas com o agente VINILICO, mesmo com o aumento de resistência de tração na aderência expressivo demonstrado na Figura 53 de 60%, sendo que a maior concentração do agente compatibilizante proporcionou maior aderência nas interfaces adjacentes aplicadas ao agente compatibilizante, onde o VINILICO 0,25 rompeu na interface do agente compatibilizante com a massa asfáltica, mas quando a concentração dobrou, na aplicação do VINILICO 0,50, houve aderência do agente

compatibilizante na massa asfáltica, rompendo apenas entre a emulsão asfáltica e a massa asfáltica.

Figura 55 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; VINILICO 0,25 e VINILICO 0,50.



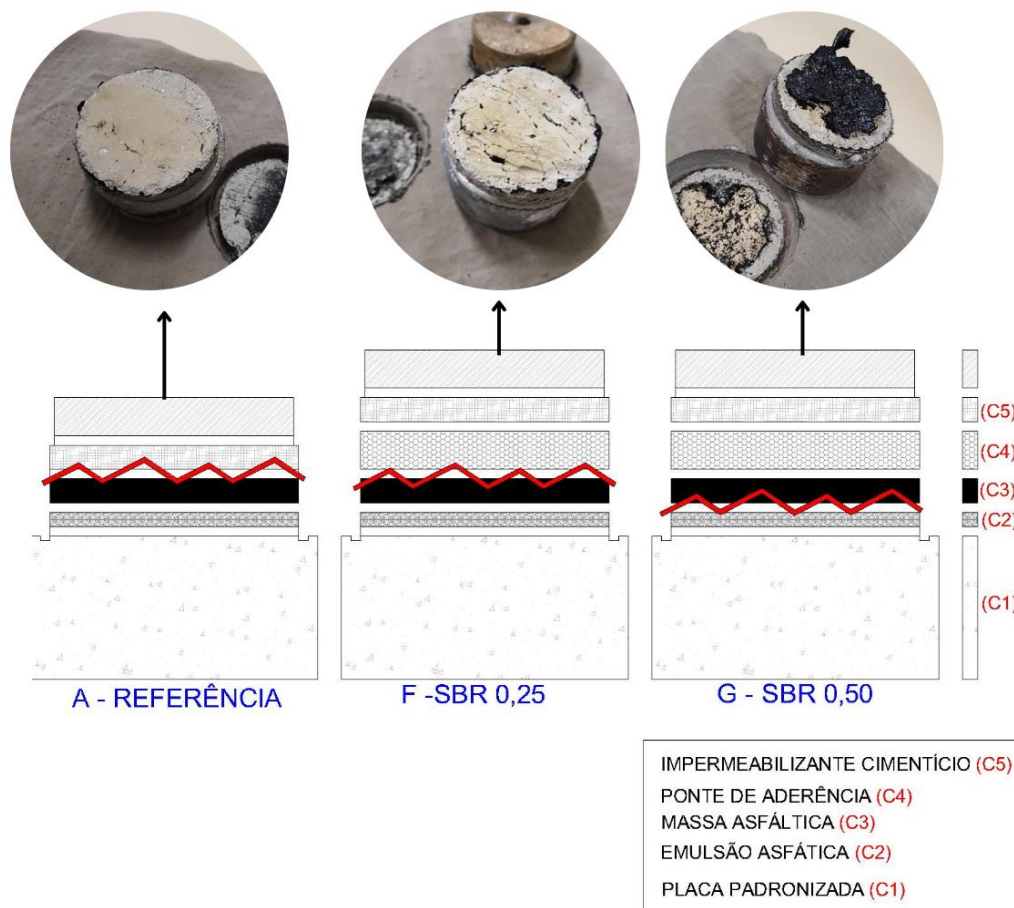
Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 56 expressa a análise de camadas das placas REFERÊNCIA, SBR 0,25 e SBR 0,50, onde a representação de ruptura demonstra mais frágil sob a análise de maior esforço, sendo que neste caso a REFERÊNCIA entre o impermeabilizante cimentício e a massa asfáltica; SBR 0,25 com ruptura na massa asfáltica e SBR 0,50 com ruptura entre a emulsão asfáltica e a massa asfáltica.

A análise da correlação da Figura 56, como objeto as placas com o agente SBR, mesmo com o aumento de resistência de tração na aderência perceptível demonstrado na Figura 53, sendo que a maior concentração do agente compatibilizante proporcionou maior aderência nas interfaces adjacentes aplicadas ao agente compatibilizante, onde o SBR 0,25 rompeu na interface do agente compatibilizante com a massa asfáltica, mas quando a concentração dobrou,

na aplicação do SBR 0,50, houve aderência do agente compatibilizante na massa asfáltica, rompendo apenas entre a emulsão asfáltica e a massa asfáltica.

Figura 56 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; SBR 0,25 e SBR 0,50.



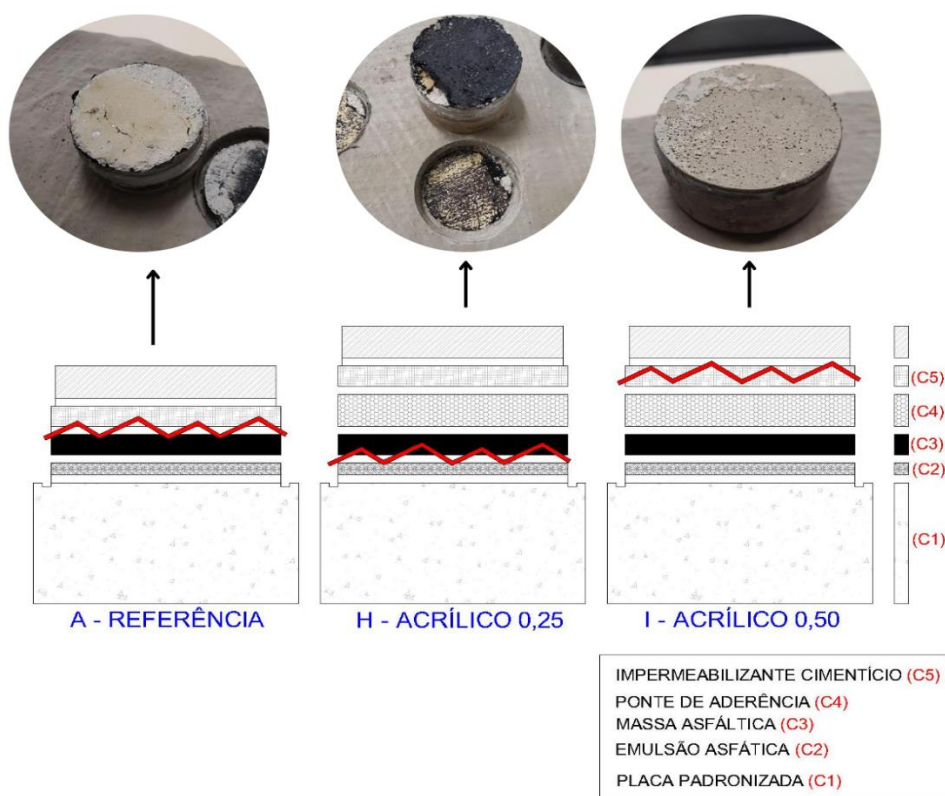
Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 57 expressa a análise de camadas das placas REFERÊNCIA, ACRÍLICO 0,25 e ACRÍLICO 0,50, onde a representação de ruptura demonstra mais frágil sob a análise de maior esforço, sendo que neste caso a REFERÊNCIA entre o impermeabilizante cimentício e a massa asfáltica; ACRÍLICO 0,25 com ruptura na interface entre massa asfáltica e emulsão asfáltica e ACRÍLICO 0,50 com ruptura na camada do impermeabilizante cimentício.

A análise da correlação da Figura 57, como objeto as placas com o agente ACRÍLICO, mesmo com o aumento de resistência de tração na aderência expressivo demonstrado na Figura 53, mas as duas concentrações tiveram altas resistências de tração na aderência, sendo o ACRÍLICO 0,25 rompendo entre a camada asfáltica e a emulsão asfáltica, apresentando aderência entre os substratos, mas quando a concentração dobrou, na aplicação do ACRÍLICO 0,50, houve aderência total do agente compatibilizante na massa asfáltica, obtendo

compatibilidade total entre as camadas quimicamente diferentes, bem como dissipando a tensão perfeitamente, rompendo com elevada na camada do impermeabilizante cimentício com alta resistência a tração.

Figura 57 - Análise da camada de ruptura da REFERÊNCIA; ACRÍLICO 0,25 e ACRÍLICO 0,50.



Fonte: Próprio autor (2022).

4.3 Resistência à tração na aderência após imersão

As resistências à tração na aderência das amostras após a imersão de 72 horas correspondem diretamente a uma correlação de um sistema em uso, bem como o comportamento da ponte de aderência em um cenário totalmente saturado. Os dados coletados e analisados na Tabela 22 onde constam os dados obtidos nos ensaios.

As médias das leituras de cada placa estão acompanhados com os respectivos desvios padrão, limite de confiança de 95% e o coeficiente de variação entre as leituras.

A resistência de tração na aderência de asfalto/manta, segundo a NBR 15.575-5 é de 0,2 MPa, já os impermeabilizantes cimentícios possuem exigências de resistências de 0,5 MPa, sendo os parâmetros normativos para a análise direta (ABNT, 2015, 2013, 2010). Este limite de resistência foi o principal parâmetro de comparação entre todas as placas contendo os agentes de compatibilização.

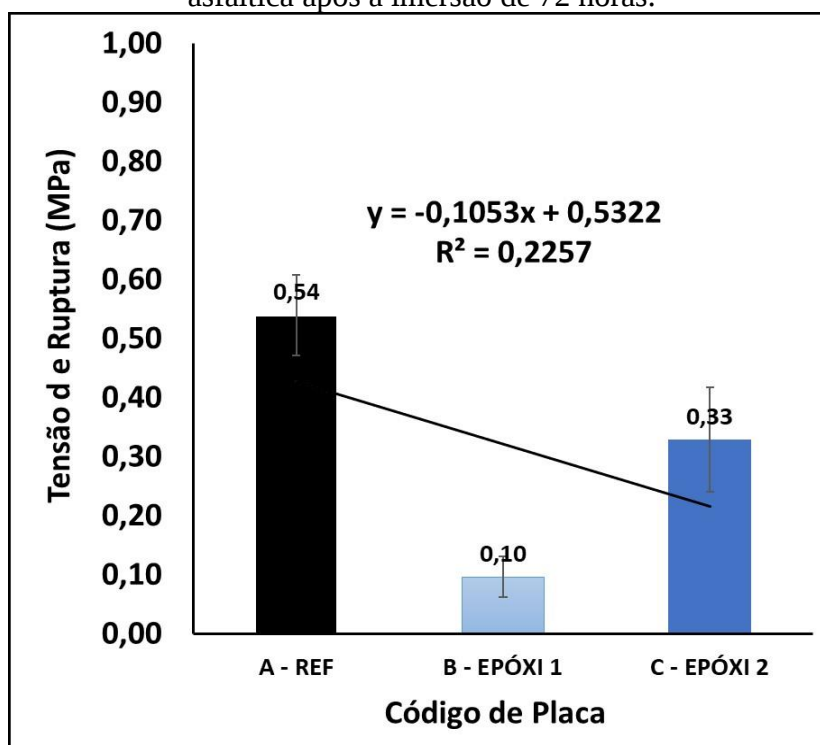
Tabela 22 - Resistência à tração na aderência para as placas com agentes compatibilizantes sem imersão.

Código de Placa	PAST. 01	PAST. 02	PAST. 03	Tensão de Ruptura Média (MPa)	Des. Padrão (MPa)	IC 95%	Coef. Var. %
A - REF	0,62	0,50	0,50	0,54	0,07	0,12	12,57
B - EPÓXI 1	0,11	0,06	0,12	0,10	0,03	0,06	35,59
C - EPÓXI 2	0,29	0,26	0,43	0,33	0,09	0,16	26,94
D - VINÍLICO-0,25	0,34	0,44	0,40	0,39	0,05	0,09	12,86
E - VINÍLICO-0,50	0,34	0,52	0,39	0,42	0,09	0,17	22,00
F - SBR-0,25	0,27	0,20	0,42	0,30	0,11	0,20	36,24
G - SBR-0,50	0,62	0,45	0,43	0,50	0,10	0,19	20,95
H - ACRÍLICO-0,25	0,61	0,50	0,45	0,52	0,08	0,15	15,92
I - ACRÍLICO-0,50	0,66	0,82	0,59	0,69	0,12	0,21	16,65

Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 58 apresenta a comparação dos ensaios das placas A (referência) com o desempenho nos testes das placas com primer epóxi B e C, com uma demão e duas demãos, respectivamente sobre a influência na aderência sobre a massa asfáltica.

Figura 58 – Influência da adição de epóxi na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.

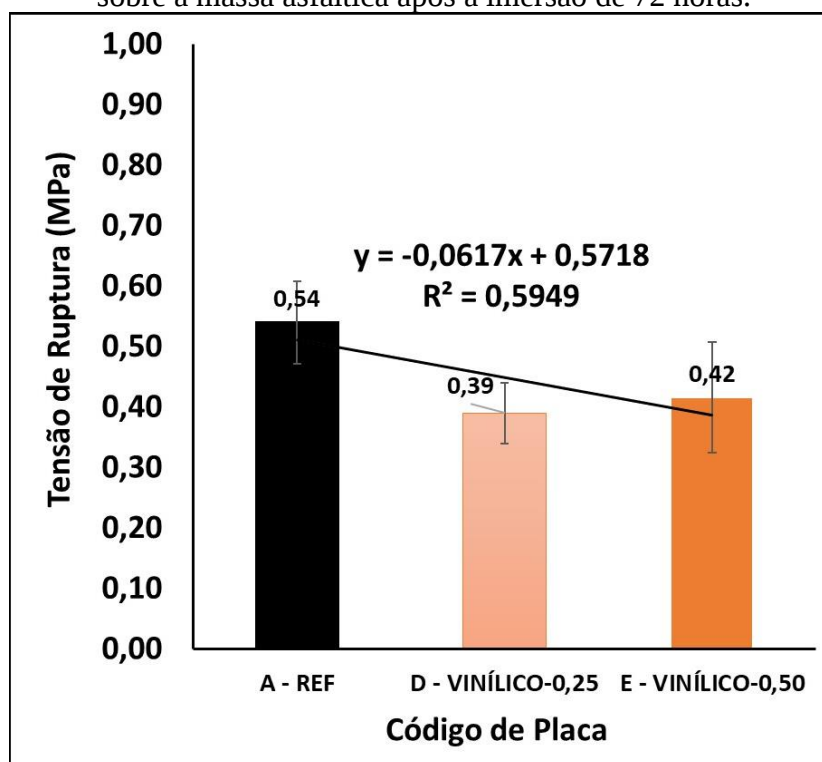


Fonte: Próprio autor (2022).

O ensaio foi realizado após a imersão das placas por 72 horas, sendo notória a redução do valor da resistência à tração na aderência em até 81,48% com o uso do epóxi em relação a referência, onde as placas B e C atingiram resistências de 0,10 e 0,33 MPa, respectivamente, desclassificando as mesmas para a tal aplicação. Este resultado reflete que o epóxi não foi sucedido no quesito de criação de fortes pontes de aderência entre a matriz cimentícia do impermeabilizante e o substrato saturado com a massa asfáltica.

Já a Figura 59 apresenta a comparação das resistências à tração na aderência entre as placas A, D e E, com a adição do copolímero vinílico como agente de compatibilização em duas concentrações, sendo os ensaios realizados após a imersão de 72 horas. Para a placa D, com menor concentração do vinílico, a resistência foi 0,39 MPa atingindo 27,78% a menos se comparada com a placa REF. Já para a placa E, com maior concentração do vinílico, a resistência está 22,22% menor que a REF, atingindo 0,42 MPa. Assim, independente das concentrações, as placas D e E não atingiram as resistências mínimas estabelecidas por norma.

Figura 59 - Influência da adição de copolímero vinílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.

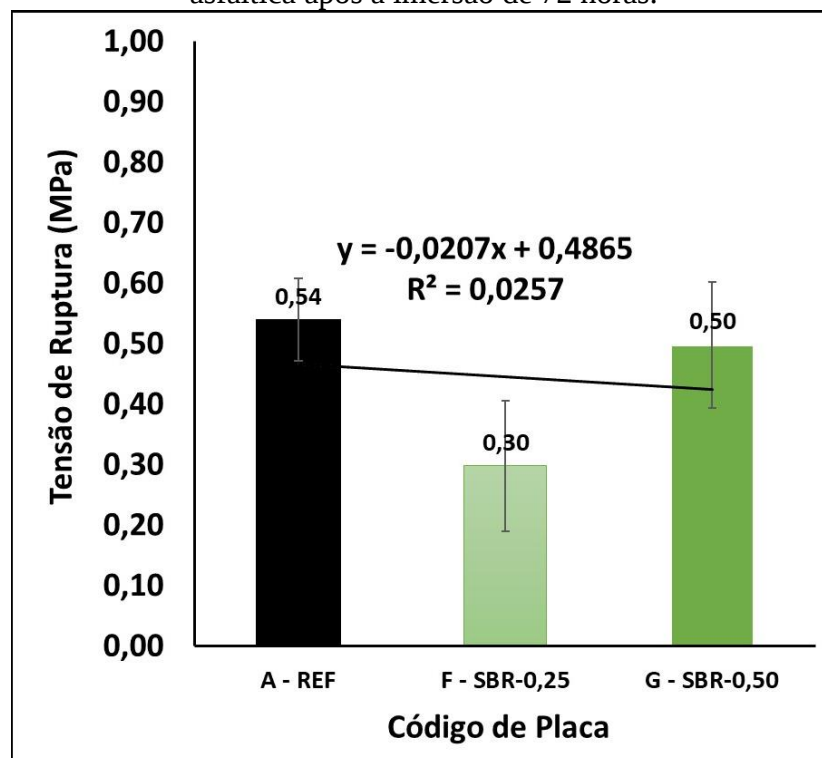


Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 60 apresenta a comparação dos ensaios das placas A (referência) com o desempenho nos testes das placas com SBR em duas concentrações após a imersão de 72 horas. As placas F e G apresentaram um comportamento similar às placas D e E, onde os resultados

dos ensaios se mantiveram abaixo da placa REF. Para a placa F, com menor concentração do SBR, a resistência foi 0,30 MPa atingindo 44,44% a menos se comparada com a placa REF. Já para a placa G, com maior concentração do SBR, a resistência está 7,41% menor que a REF, atingindo 0,50 MPa. Assim, a placa G (SBR-0,50) atingiu a resistência mínima estabelecida por norma, mas a barra de erro tramita em valores inferiores aos parâmetros das resistências mínimas.

Figura 60 - Influência da adição de SBR na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.



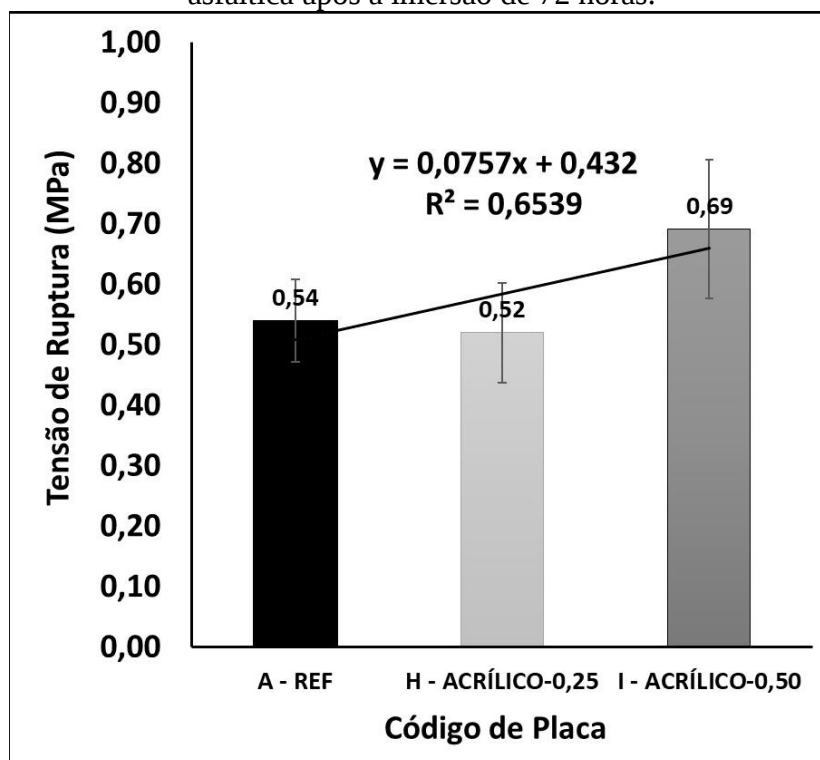
Fonte: Próprio autor (2022).

Finalmente, a Figura 61 apresenta a comparação das resistências à tração na aderência entre as placas A, H e I, com a adição da emulsão à base de acrílico como agente de compatibilização em duas concentrações após a imersão das placas por 72 horas. Para ambas as placas H e I, foram atingidos maiores valores na resistência a tração na aderência do que estabelecidos em normas, mas a placa H (Acrílico-0,25) ficou abaixo da resistência da placa REF, com 3,70 % inferior a medida de referência e com uma barra de erro tramitando em valores inferiores as medidas normativas.

Já a placa I (Acrílico-0,50) superou a placa REF em 27,78%, chegando à resistência de 0,69 MPa, sendo que a barra de erro tramitando dentro do intervalo superior ao mínimo estabelecido por norma de 0,50MPa.

Contudo, a placa I (Acrílico-0,50) atingiu as resistências mínimas estabelecidas por norma, mesmo sob a análise do coeficiente de variação alto.

Figura 61 - Influência da adição de acrílico na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.



Fonte: Próprio autor (2022).

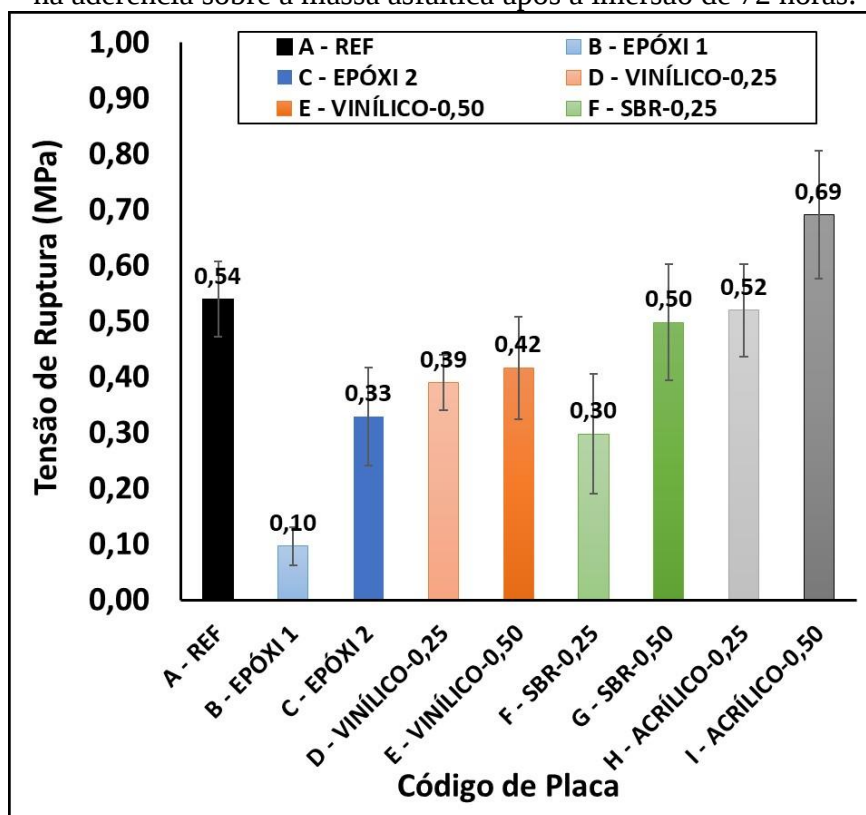
Na Figura 62, é possível observar a representação gráfica da resposta da resistência à tração na aderência para todas as categorias supracitadas após a imersão por 72 horas, demonstrando as possíveis variações nos resultados.

A placa REF demonstrou valor de referência maior que o mínimo estabelecido em norma, sendo de 0,54 MPa, mas com intervalos da barra de erro tramitando em valores inferiores ao estabelecido por norma.

Após a imersão por 72 horas, simulando uma condição de uso em reservatório e o comportamento da ponte de aderência entre o substrato saturado com massa asfáltica e o impermeabilizante cimentício, apenas a placa I (Acrílico-0,50) superou a placa REF e os intervalos da barra de erro ficaram superiores a resistência mínima estabelecida por norma, ou seja, a análise da dispersão dos resultados da placa I atende aos requisitos normativos, promovendo aderência entre as interfaces distintas.

Analisando o parâmetro inicial de aderência da massa asfáltica sobre o substrato, que exige parâmetro mínimo de 0,2 MPa, todos os ensaios atenderam ao especificado, garantindo aderência mínima superior ao especificado.

Figura 62 - Influência da adição de diversos agentes compatibilizantes na resistência à tração na aderência sobre a massa asfáltica após a imersão de 72 horas.



Fonte: Próprio autor (2022).

4.4 Análise do comportamento das placas sem imersão e após imersão

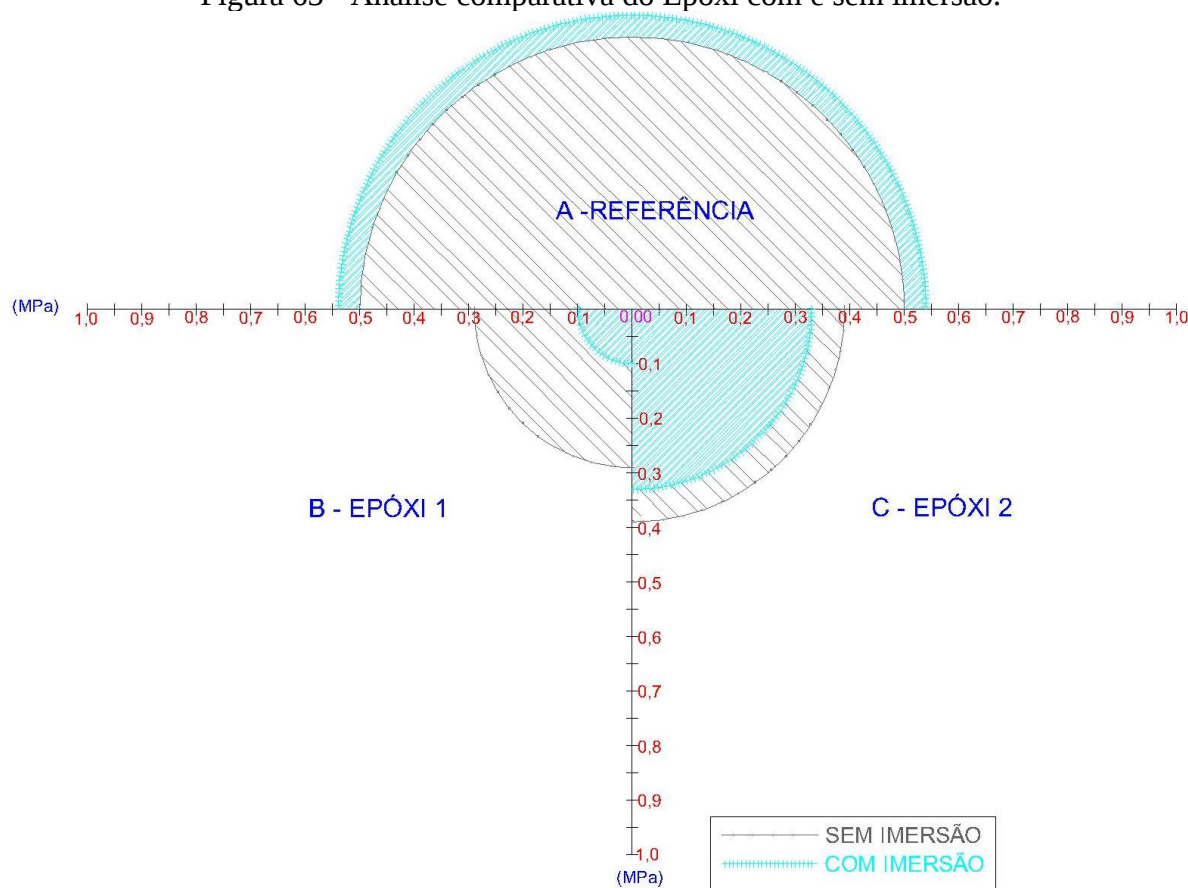
As placas sem imersão correspondem a lapsos temporais decorrentes da aplicação do sistema de impermeabilizante e das intervenções das periodicidades das manutenções preventivas e corretivas, já as placas ensaiadas após imersão decorrem do comportamento do sistema analisado frente a exposição total a água por imersão completa, correspondendo as condições de uso em reservatórios.

As figuras a seguir demonstram a análise da placa de referência, sendo que os ensaios sem imersão demonstram resistência de 0,50MPa, com relação após imersão houve um acréscimo de resistência de aproximadamente 7,41%, chegando a 0,54MPa de resistência a tração na aderência.

A Figura 63 apresenta os ensaios de realizados nas placas B (EPÓXI 1) e C (EPÓXI 2), sendo que ambas não atendem a resistência mínima exigida por norma tanto após os ensaios sem imersão, bem como após a imersão das placas por 72 horas.

As placas B (EPÓXI 1) e C (EPÓXI 2) apresentaram perda de resistência após a imersão da placa, com destaque a placa B, com redução de aproximadamente 65,52% em relação a resistência do ensaio sem imersão, chegando a 0,10MPa.

Figura 63 - Análise comparativa do Epóxi com e sem imersão.

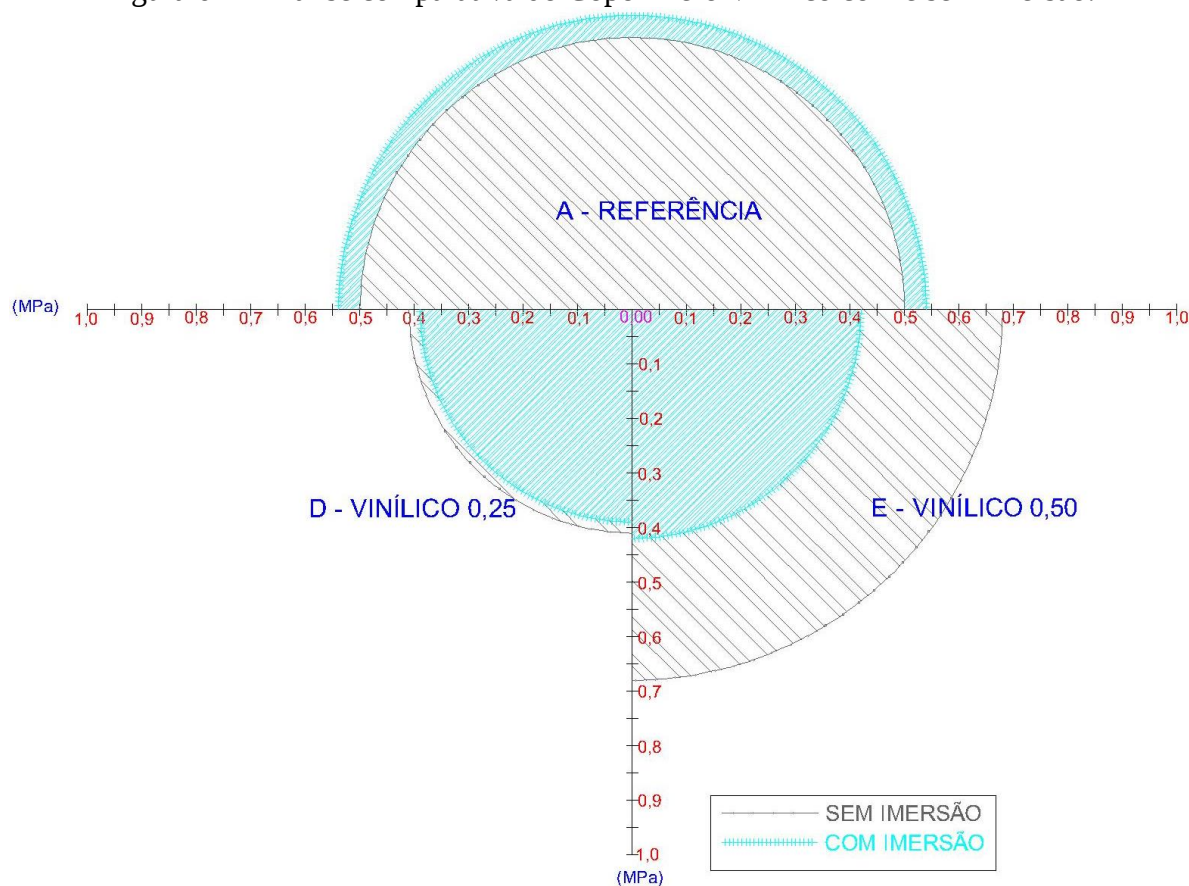


Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 64 representa as condições encontradas nos ensaios realizados nas Placas A (REF), D (VINILICO-0,25) e E (VINILICO-0,50), onde as placas D e E apresentaram perdas de resistência de aderência ao substrato, com destaque a placa E que sem imersão atendia a todos os requisitos normativos, após a imersão do mesmo sistema não atende aos requisitos normativos, perdendo 38,23% da resistência em relação ao resultado do ensaio na placa sem imersão.

A Figura 64 demonstra que a análise das placas D (VINILICO-0,25) e E (VINILICO-0,50) apresentam resultados similares após a imersão, apresentando intervalos muito próximos nos intervalos de desvio padrão e barra de erro.

Figura 64 - Análise comparativa do Copolímero Vinílico com e sem imersão.

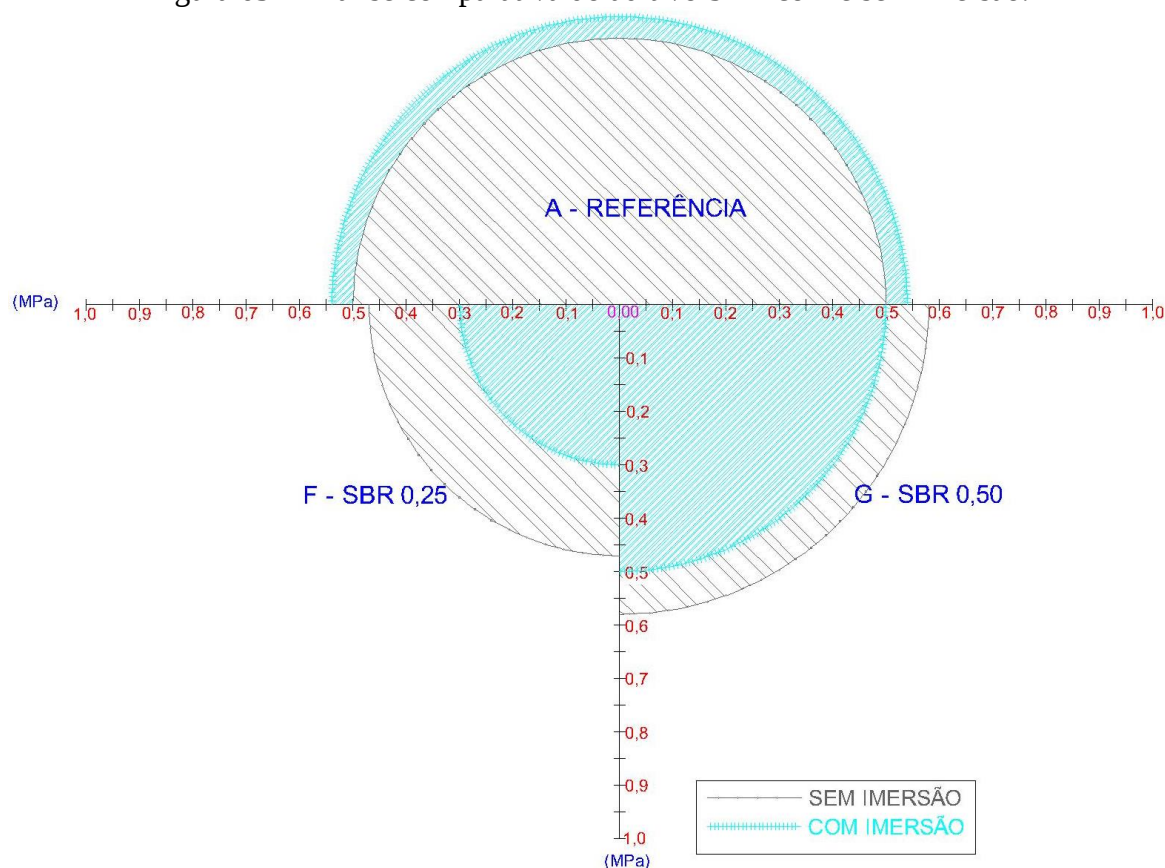


Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 65 reproduz os ensaios realizados nas placas F (SBR-0,25) e G (SBR-0,50), sob análise sem imersão e submerso após 72 horas, bem como a comparação com a placa de referência.

O ensaio com a placa F (SBR-0,25) não atendeu as resistências mínimas exigidas por norma no ensaio sem imersão, mas após a imersão, os ensaios apresentaram uma queda relevante de aproximadamente 36,17%, chegando à resistência de 0,30MPa. Já a placa G (SBR-0,50) atendia a resistência mínima exigida por norma nos ensaios sem imersão, com resultados de 0,58MPa e intervalos do coeficiente de variação variando acima do mínimo exigido, mas frente ao ensaio com as placas que foram submersas por 72 horas, a resistência apresentou queda de aproximadamente 13,80%, chegando em 0,50 MPa e com intervalos do coeficiente de variação chegando abaixo do mínimo exigido por norma.

Figura 65 - Análise comparativa do aditivo SBR com e sem imersão.

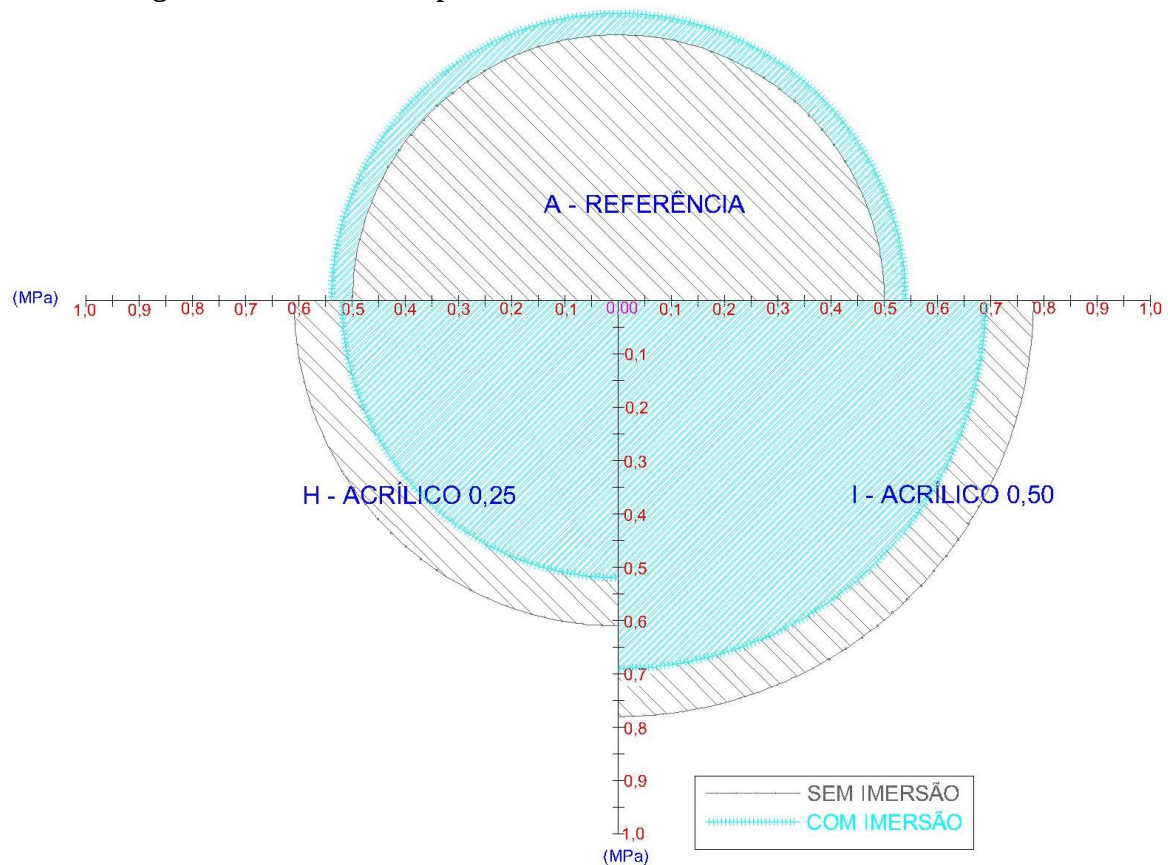


Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 66 reproduz os resultados dos ensaios das placas H (ACRÍLICO-0,25) e I (ACRÍLICO-0,50), sendo dos ensaios sem imersão e dos ensaios com imersão. Nos ensaios sem imersão, os resultados da resistência das placas H (ACRÍLICO-0,25) e I (ACRÍLICO-0,50) atendem a resistência mínima exigida por norma, inclusive aplicado o coeficiente de variação o intervalo fica acima da norma.

Nos ensaios após a imersão por 72 horas, as placas H (ACRÍLICO-0,25) e I (ACRÍLICO-0,50) apresentaram queda na resistência de tração na aderência, sendo de aproximadamente 11,5% e 14,75%, sendo que o resultado atende ao mínimo exigido por norma, mas quando aplicado o coeficiente de variação, apenas a placa I (ACRÍLICO-0,50) fica com o intervalo acima do mínimo exigido.

Figura 66 - Análise comparativa do aditivo Acrílico com e sem imersão.



Fonte: Próprio autor (2022).

4.5 Análise dos materiais por ângulo de contato

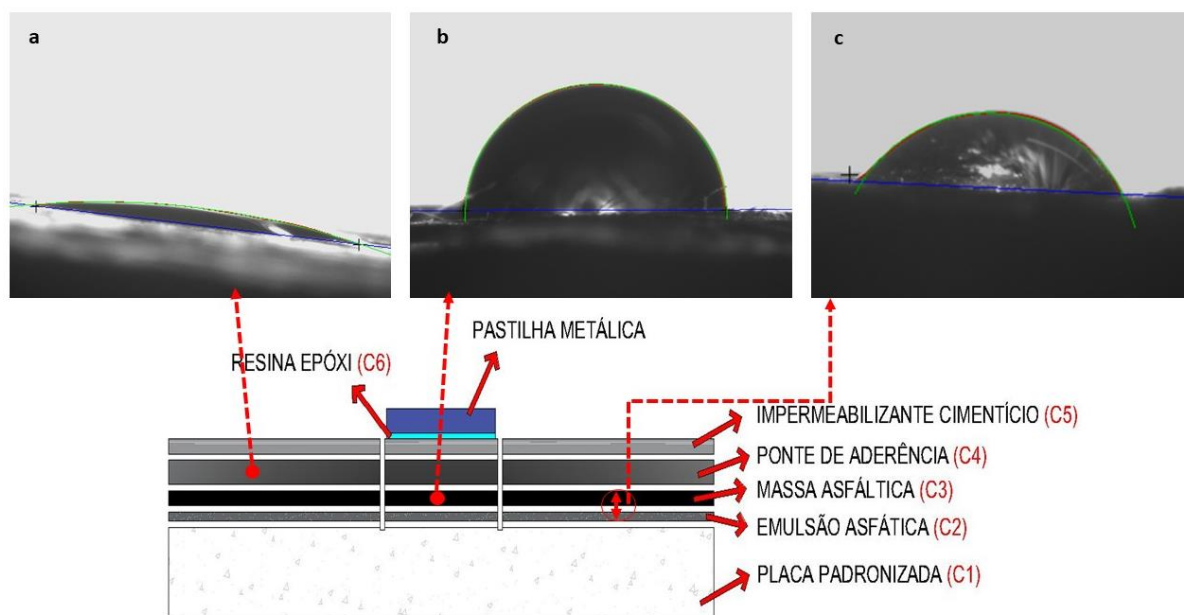
A determinação da polaridade dos materiais sob análise do ângulo de contato torna-se primordial para verificação de interatividade das camadas, sendo que a energia livre superficial deve produzir um ângulo de contato aproximado entre as camadas, para assim terem compatibilidade química.

A análise entre as camadas se torna essencial na verificação das aderências e desempenho do sistema, com ênfase no agente compatibilizante que aditiva a ponte de aderência, pois se torna ligação de aderência química direta entre materiais de polaridades distintas.

A análise das camadas possui transições diferentes entre os materiais, sendo a placa padronizada a base de microconcreto estrutural (polar); emulsão asfáltica (ponte de aderência para o asfalto); massa asfáltica (apolar); ponte de aderência aditivada com agente compatibilizante e impermeabilizante de matriz cimentícia (polar).

A Figura 67 demonstra a análise de 3 camadas, sendo a seção a) a camada da ponte de aderência (argamassa e agente compatibilizante) já curada, apresentando ângulo de contato $\beta \sim 12^\circ$, sendo hidrófila polar. A seção b) é a análise apenas da massa asfáltica, sem interferência de outras camadas, apresentando o ângulo de contato $\beta \sim 90^\circ$, sendo hidrofóbica, apolar. Já a seção c) é a análise da massa asfáltica aderida sobre a emulsão asfáltica, apresentando o ângulo de contato $\beta \sim 60^\circ$, sendo hidrófila polar.

Figura 67 - Análise do ângulo de contato - a) ponte de aderência com agente compatibilizante curado (12°); b) massa asfáltica (90°); e c) massa asfáltica com emulsão asfáltica (60°).

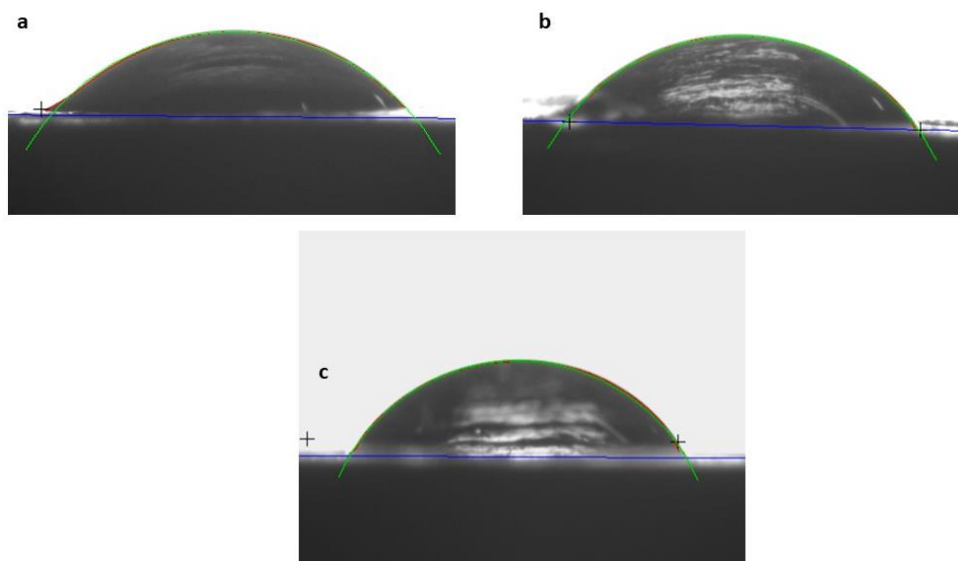


Fonte: Próprio autor (2022).

A Figura 67, seção a) demonstra que a utilização de argamassa cimentícia com agente compatibilizante curado, reduz o ângulo de contato, assim a Figura 68 demonstra a análise do ângulo de contato apenas da ação dos agentes compatibilizantes testados, sendo que uma superfície foi saturada com o produto e levada para exame da superfície.

A Figura 68 representa os agentes analisados, sendo na seção a) o copolímero vinílico, com ângulo de contato $\beta \sim 50^\circ$, sendo hidrófila polar. A seção b) é o agente SBR com ângulo de contato $\beta \sim 53^\circ$, sendo classificado como hidrófila polar. A seção c) se trata do agente acrílico, com ângulo de contato $\beta \sim 60^\circ$, sendo hidrófila polar.

Figura 68 - Análise do ângulo de contato dos agentes compatibilizantes - a) copolímero Vinílico (50°); b) SBR (53°); e c) acrílico (60°).



Fonte: Próprio autor (2022).

Dos agentes compatibilizantes analisados, o que possui o maior ângulo de contato e se aproxima da compatibilidade com o sistema apolar é o acrílico, apresentando o ângulo de contato $\beta \sim 60^\circ$, mais próximo do asfalto que apresenta ângulo de contato $\beta \sim 90^\circ$.

5 CONCLUSÕES

Para os resultados apresentados, pode se tirar como conclusões os seguintes pontos:

Os resultados de todas as placas apresentados demonstram grandes variações se comparados entre si, mas com inconstantes variações se analisadas pelas barras de erros baseada no desvio padrão.

Analisando o parâmetro inicial de aderência da massa asfáltica sobre o substrato, que exige parâmetro mínimo de 0,2 MPa, todas as placas atenderam ao especificado, garantindo aderência mínima superior ao especificado.

Os parâmetros secundários, onde a aderência mínima que o sistema impermeabilizante deve apresentar é de 0,50 MPa, sendo que todas as misturas tiveram um aumento no valor da resistência quando a concentração do aditivo é aumentada. Apenas as placas E (Vinílico-0,50), G (SBR-0,50), H (Acrílico-0,25) e I (Acrílico-0,50) obtiveram médias de resistências maiores que 0,50 MPa, atendendo assim a exigência mínima da norma vigente, e maiores que a placa REF em 36%, 16%, 22% e 56%, respectivamente. O resto das placas foi considerado reprovado. Portanto, a influência no desempenho na aderência do compósito sobre a massa asfáltica está diretamente ligada ao tipo de agente compatibilizante, bem como a sua concentração.

As placas E, G e H ultrapassaram os resultados mínimos previstos em normas, mas as barras de erro estão muito próximas ao mínimo estabelecido e os pontos de ruptura demonstraram falhas na aderência a massa asfáltica em alguns pontos, situação que pode ser ajustada com novos estudos com concentrações mais elevadas dos aditivos.

Após os testes, as placas foram submersas pelo período de 72 horas e foram submetidas ao mesmo ensaio de resistência de tração na aderência, para verificação do desempenho e funcionalidade do sistema no ambiente de armazenamento de água, sendo que apenas a placa I (Acrílico-0,50) se destacou com resultados e variações da barra de erro acima do mínimo estabelecido por norma.

Frente a análise de ângulo de contato, o agente compatibilizante que mais se aproximou com o ângulo de contato de um sistema hidrofóbico foi o agente acrílico, assim gerando a maior compatibilidade com o sistema apolar.

Portanto, o sistema acrílico se destaca em todas as análises, mas a concentração apresenta variações relevantes nos resultados de aderência, sendo que a aplicação de 50% do volume do cimento apresentou resultados satisfatórios frente as exigências normativas.

6 TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar os ensaios sobre placas padronizadas aplicando variação térmica.
- Avaliar o desempenho das pontes de aderência que não passaram pelo requisito da norma com concentrações do agente compatibilizante maiores.

7 ATIVIDADES ACADÊMICAS PRODUZIDAS DURANTE O MESTRADO

7.1 Apresentação em Congresso

1. 1ª Conferência Brasileira de Planejamento Experimental e Análise de Dados (ConBraPA-2020-Virtual). A influência de SBR em látex na estabilidade de pastas cimentícias de poços petrolíferos. 2020. (Congresso).
2. 1ª Conferência Brasileira de Planejamento Experimental e Análise de Dados (ConBraPA-2020-Virtual). A aplicação de um agente compatibilizante para promover a aderência entre matríz cimentícia e substrato saturado com emulsão asfáltica. 2020. (Congresso).

7.2 Resumos

1. GANÇAS, G. S.; ABOELKHEIR, M. G. A. M. . A aplicação de um agente compatibilizante para promover a aderência entre matriz cimentícia e substrato saturado com emulsão asfáltica.. In: 1ª Conferência Brasileira de Planejamento Experimental e Análise de Dados (ConBraPA-2020-Virtual), 2020, Virtual. Anais da 1ª Conferência Brasileira de Planejamento Experimental e Análise de Dados (ConBraPA-2020-Virtual), 2020.
2. GANÇAS, G. S.; SIQUEIRA, C. Y. S. ; SOUZA JR., F. G. ; TOLEDO FILHO, R. D. ; ABOELKHEIR, M. G. A. M. . A influência de SBR em látex na estabilidade de pastas cimentícias de poços petrolíferos.. In: 1ª Conferência Brasileira de Planejamento Experimental e Análise de Dados (ConBraPA-2020-Virtual), 2020, Virtual. Anais da 1ª Conferência Brasileira de Planejamento Experimental e Análise de Dados (ConBraPA-2020-Virtual), 2020.
3. GANÇAS, G. S.; ABOELKHEIR, M. G. A. M. . Enhancement of Adhesion Properties between Cement Matrices and Saturated Substrates with Asphalt Mat

by Compatibilizing Agentes.. In: 3rd International Congress on Materials & Structural Stability, 2021, Rabat. 3rd International Congress on Materials & Structural Stability, 2021.

7.3 Publicação de artigo

1. GANÇAS, G. S.; ABOELKHEIR, M. G. A. M. . Enhancement of adhesion properties between cement matrices and saturated substrates with asphalt mat by compatibilizing agents. Materials Today: Proceedings, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.023> , 04 mar. 2022.

8 REFERÊNCIAS

ABNT 11.905, N. Argamassa Polimérica industrializada para impermeabilização. . 2015.

ABNT 12.170, N. Materiais de impermeabilização – Determinação da potabilidade após o contato. . 2017.

ABNT 12.171, N. Aderência aplicável em sistema de impermeabilização composto por cimento impermeabilizante e polímeros. . 1992.

ABNT 14.037, N. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações — Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Corrigido em 2014. 2011.

ABNT 15.575 -1, N. Edificações Habitacionais – Desempenho. . 2013.

ABNT 15.885, N. Membrana de polímero acrílico com ou sem cimento, para impermeabilização. . 2010.

ABNT 16.747, N. Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. . 2020.

ABNT 5674, N. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. . 2012.

ABNT 6118, N. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. . 2014.

ABNT 9574, N. Execução de impermeabilização. . 2008.

ABNT 9575, N. Impermeabilização — Seleção e projeto. . 2010.

ABNT 9952, N. Manta asfáltica para impermeabilização. . 2014.

ABNT 14081-2, N. Argamassa Colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios. . 2015.

ABNT, N. 11. 905. Argamassa Polimérica industrializada para impermeabilização. Sponsors: _:n38Sponsors: _:n38. 2015.

ABNT, N. 15. 575-5. Edificações Habitacionais – Desempenho. Sponsors: _:n610Sponsors: _:n618. 2013.

ABNT, N. 15. 885. Membrana de polímero acrílico com ou sem cimento, para impermeabilização. Sponsors: _:n42Sponsors: _:n42. 2010.

ABOELKHEIR, M. G. et al. Thermo-oxidative degradation of vulcanized SBR: A comparison between ultraviolet (UV) and microwave as recovery techniques. **Journal of Polymer Research**, v. 28, n. 4, p. 141, 23 mar. 2021.

ALMEIDA, F. DO C. R.; SALES, A. **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, Controle e Técnicas de Análise e Intervenção**. 2. Ed. ed. Rio de Janeiro: Daniel Vêras Ribeiro, 2018.

ALMEIDA, R. IMPERMEABILIZAÇÃO EM ESPAÇO CONFINADO USO DO MANUAL DE SEGURANÇA - AEI2017/rev02. 15. n. 15º, p. 12, 2018.

BAUER, E.; VASCONCELOS, P. H. C. DE O.; GRANATO, J. E. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E PRINCÍPIOS DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DOS MATERIAIS**. 3. Ed. ed. São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, 2017. v. Vol. 02

BAUER, R. J. F.; LIMA, M. G. DE. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. 6. Ed. ed. Rio de Janeiro: João Fernando Dias, 2019. v. Vol. 01

BERNHOEFT, L. F. CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE UM SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO. 15. n. 15º, p. 8, 2018a.

BERNHOEFT, L. F. A COMPATIBILIZAÇÃO COMO ESSÊNCIA DO PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. 15. n. 15º, p. 11, 2018b.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: Patologia, Reabilitação, Prevenção**. São Paulo: Leda Maria Marques Dias Beck, 2010.

BETTINI, S. H. P.; ANTUNES, M. C.; MAGNABOSCO, R. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO AGENTE COMPATIBILIZANTE NO COMPORTAMENTO EM FADIGA DE UM COMPÓSITO DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRA DE COCO. p. 9, 2009.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. R. DO L. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Leda Maria Marques Dias Beck, 2019.

DECOL, M. et al. INFLUÊNCIA DE AGENTE COMPATIBILIZANTE NAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E NA MORFOLOGIA DE BLENDS PLA/PCL. p. 8, 2014.

DEL MAR, C. P. **DIREITO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. São Paulo: PINI, 2015.

DENVER. **DENVERGROUT**. , 2020. Disponível em: <http://denverimper.com.br/arquivos/produtos/instrucoes/11-denvergrout-rev14_20200625175413FZzX6LAGlo.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2021

DENVER. **FISPQ-065 - DENVERGROUT**. , 2021. Disponível em: <http://denverimper.com.br/arquivos/produtos/instrucoes/fispq065r09-denvergrout_20210317183816rjciwfTz3I.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2021

DOMINGUEZ-CANDELA, I. et al. Novel compatibilizers and plasticizers developed from epoxidized and maleinized chia oil in composites based on PLA and chia seed flour. **European Polymer Journal**, v. 173, p. 111289, 15 jun. 2022.

FERREIRA, C. et al. The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings' envelope components. **Journal of Building Engineering**, v. 33, p. 101571, 1 jan. 2021.

FRAZÃO, K. N. T. **MANUTENÇÃO PREDIAL UTILIZANDO A METODOLOGIA BIM COM ÊNFASE NA VIDA ÚTIL DOS COMPONENTES CONSTRUTIVOS**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo—DF: Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

FUSCO, P. B. (TRAD.). **Tecnologia do Concreto Estrutural**. 1 Ed. ed. [s.l.] Editora PINI Ltda, 2008.

GANÇAS, G. S. **AÇÕES DOS PRINCIPAIS AGENTES DE DEGRADAÇÃO E DE INTERFERÊNCIA DA DURABILIDADE DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO**. Monografia do Curso de Pós Graduação—São Paulo: Universidade Paulista - UNIP, 2019.

GASPAR, P.; BRITO, J. Métodos para a Estimativa da Vida Útil de Materiais de Construção. **Urbanismo & Construção**, p. 7–10, 1 jan. 2007.

GONÇALVES, A. I.; AZAMBUJA, M. DOS A. Argamassas de Revestimento: Índice de Aderência às Superfícies. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 4, n. 27, 25 dez. 2016.

GRANATO, J. E. VUP - VIDA ÚTIL DE PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO EM ATENDIMENTO A ABNT NBR 15.575:2013. 15. n. 15º, p. 15, 2018.

GRULLÓN PEÑA, M. R.; HELENE, P. **Estudo de fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, , 2005. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00406.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021

GUIA DE APLICAÇÃO DA NORMA DE DESEMPENHO PARA IMPERMEABILIZAÇÃO. **GUIA DE APLICAÇÃO DA NORMA DE DESEMPENHO PARA IMPERMEABILIZAÇÃO: Especificação, aplicação e contratação com foco no atendimento à ABNT NBR 15575:2013**, v. Vol. 01, p. 1–48, 2018a.

HAO, X. et al. Interfacial adhesion mechanisms of ultra-highly filled wood fiber/polyethylene composites using maleic anhydride grafted polyethylene as a compatibilizer. **Materials & Design**, v. 212, p. 110182, 15 dez. 2021.

HELENE, P. R. DO L. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO**. Tese de Livre-docência—São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993.

HILAL, N. et al. (EDS.). Copyright. Em: **Membrane Characterization**. [s.l.] Elsevier, 2017. p. iv.

IBI, I.-I. B. DE I. **Método Fatorial Impermeabilização - Simulador de Vida Útil de Projeto**. IBI, , 17 jan. 2018b. Disponível em: <https://ibibrasil.org.br/wp-content/uploads/2019/02/M%C3%A9todo-Fatorial-Impermeabiliza%C3%A7%C3%A3o_2018_01_17_bloqueada.xlsx>. Acesso em: 18 abr. 2021

ISO 15686-1, I. S. Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles. . 2000.

ISO 15686-2, I. S. Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 2: Service life prediction procedures. . 2001.

JIRÁNEK, M.; KAČMAŘÍKOVÁ, V. Radon diffusion coefficients and radon resistances of waterproofing materials available on the building market. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 208–209, p. 106019, 1 nov. 2019.

KONEČNÝ, P.; LEHNER, P. Durability assessment of concrete bridge deck considering waterproof membrane and epoxy-coated reinforcement. **Perspectives in Science**, 1st Czech-China Scientific Conference 2015. v. 7, p. 222–227, 1 mar. 2016.

LAUAND, C. A. (TRAD.). **TRATADO DE CONCRETO ARMADO**. [s.l.] Hemus, 2003.

LI, H.; XU, S.; ZENG, Q. Waterproof ultra-high toughness cementitious composites containing nano reservoir silts. **Construction and Building Materials**, v. 155, p. 770–779, 30 nov. 2017.

LIMA, M. G. DE. **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA**. São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, 2011. v. Vol. 01

LINCHTENSTEIN, N. B. **PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, , 1986. Disponível em: <http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00006.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2021

LUNA, C. B. B. et al. Efeito dos agentes de compatibilização SBS e SEBS-MA no desempenho de misturas de poliestireno/resíduo de borracha de SBR. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 21, n. 3, p. 632–646, set. 2016.

LUZ, J. A. M. DA; LIMA, R. M. F. CAPÍTULO 28 – MEDIDA DE ÂNGULO DE CONTATO. **Medida de Ângulo de Contato**, Tratamento de Minérios. p. 15, 2007.

Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Impermeabilização. IBI, , 2019. Disponível em: <<http://www.manuaisdeescopo.com.br/notice/ibi-revisa-e-atualiza-manual-de-impermeabilizacao/>>. Acesso em: 18 abr. 2021

MEDEIROS, M. H. F. DE; ANDRADE, J. J. DE O.; HELENE, P. **CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA**. São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, 2011. v. Vol. 01

MELHADO, S. B.; AGOPYAN, V. **O CONCEITO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS: DIRETRIZES PARA SUA ELABORAÇÃO E CONTROLE**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, , 1995. Disponível em: <http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00139.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021

MENGUAL, A. et al. PE-g-MA, PP-g-MA and SEBS-g-MA compatibilizers used in material blends. **Procedia Manufacturing**, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain. v. 13, p. 321–326, 1 jan. 2017.

NR-33, M. D. T. E. E. Portaria MTE n.º 202. NR - 33 - SEGURANÇA E SAÚDE NOS TRABALHOS EM ESPAÇOS CONFINADOS. . 2019.

OLIVEIRA, C. I. R. DE et al. Avaliação do efeito do agente compatibilizante (PP-g-MA) em misturas PP/Amido termoplástico. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 3, 2019a.

OLIVEIRA, C. I. R. DE et al. Avaliação do efeito do agente compatibilizante (PP-g-MA) em misturas PP/Amido termoplástico. **Revista Matéria**, v. 24, n. 3, 4 nov. 2019b.

PEREIRA, P. S. Programa de manutenção de edifícios para as unidades de atenção primária à saúde da cidade de Juiz de Fora. 25 nov. 2011.

PICCHI, F. A. **Impermeabilização de coberturas**. São Paulo: PINI / IBI - Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 1986.

PICOLO, N.; LEBRÃO, S. M. G. ANÁLISE DO ÂNGULO DE CONTATO DE MATERIAIS SUPERHIDROFÓBICOS. p. 9, 2018.

REIS, M. M. et al. AVALIAÇÃO DO TIPO DE COMPATIBILIZANTE NAS PROPRIEDADES DE BLENDS DE POLIETILENO/AMIDO. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, n. 22º, p. 11, 2016.

RIBEIRO, D. V.; CASCUDO, O. **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto: Teoria, Controle e Técnicas de Análise e Intervenção**. 2. Ed. ed. Rio de Janeiro: Daniel Vêras Ribeiro, 2018.

RODRIGUES, R. M.; JÚNIOR, A. DA S. S.; LIMA, E. E. P. Erros, diagnósticos e soluções de impermeabilização na construção civil. **Revista InterScientia**, v. 4, n. 2, p. 19–33, 17 dez. 2016.

SANTOS, J. A. B. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS EDIFICAÇÕES: ANÁLISE DE SUAS OCORRÊNCIAS EM RELAÇÃO AO PROJETO DE IMPERMEABILIZAÇÃO. 15. n. 15º, p. 17, 2018.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, Report of UNEP SBCI WORKING GROUP ON LOW-CO₂ ECO-EFFICIENT CEMENT-BASED MATERIALS. v. 114, p. 2–26, 1 dez. 2018.

SENDERSKI, T. A. **Efeito do agente compatibilizante PE-g-MAH em blenda polimérica híbrida LSZH/HDPE**.

SILVA, A. et al. Influência de aditivo PVA no comportamento reológico de argamassa elaborada a partir de resíduos Industriais. **Cerâmica Industrial**, v. 20, p. 24–29, 1 jan. 2015.

SILVA, W. A. DA et al. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 154–163, fev. 2007.

SOUZA, A. K. L. DE. Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar: estudo de caso. 30 maio 2014.

STORTE, M. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. 6. Ed. ed. Rio de Janeiro: João Fernando Dias, 2019. v. Vol. 02

STORTE, M.; STORTE, A. A. PERÍCIA EM IMPERMEABILIZAÇÃO VERSUS AS INTERFACES COM AS NORMAS TÉCNICAS E AS LEIS. 13. n. 15º, p. 15, 2018.

TOFANETTO, C. P. et al. ESTUDO COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA QUÍMICA ENTRE IMPERMEABILIZANTES. 15. n. 15º, p. 14, 2018.

WALDVOGEL, M. et al. Influences of temperature and opening rate of substrate cracks on the mechanical behaviour, crack-bridging ability and deformation mechanisms of one-component, cementitious, flexible waterproofing membranes. **Cement and Concrete Research**, v. 136, p. 106140, 1 out. 2020.

WANG, C. et al. Influences of VTMS/SiO₂ ratios on the contact angle and morphology of modified super-hydrophobic silicon dioxide material by vinyl trimethoxy silane. **Results in Physics**, v. 10, p. 891–902, 1 set. 2018.

ZHANG, H. (ED.). 10 - Waterproof Materials. Em: **Building Materials in Civil Engineering**. Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. [s.l.] Woodhead Publishing, 2011. p. 253–423.