



**Universidade Politécnica
A POLITÉCNICA**

**INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO CIÊNCIAS E
TECNOLOGIAS**

Licenciatura em Engenharia Civil

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO USO DA MEMBRANA TPO COMO
IMPERMEABILIZANTE EM COBERTURAS
CASO DE ESTUDO: AEROPORTOS DE MOÇAMBIQUE**

Autor: Zetó Basílio Miguel

Supervisor: Engº Ângelo Sumana

Maputo, Agosto de 2024



**Universidade Politécnica
A POLITÉCNICA**

**INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO CIÊNCIAS E
TECNOLOGIAS**

Licenciatura em Engenharia Civil

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO USO DA MEMBRANA TPO COMO
IMPERMEABILIZANTE EM COBERTURAS
CASO DE ESTUDO: AEROPORTOS DE MOÇAMBIQUE**

Autor: Zetó Basílio Miguel

Supervisor: Eng^o Ângelo Sumana

Maputo, Agosto de 2024

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	VI
DEDICATÓRIA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS	IX
RESUMO.....	X
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1. Introdução.....	1
1.1.Delimitação do tema.....	2
1.2.Problema de investigação	3
1.3 Objectivos da investigação	4
1.3.1 Objectivo Geral.....	4
1.3.2 Objectivos específicos	4
1.4. Justificativa do tema	4
1.5. Descrição das características do ambiente de estudo	6
1.6. Organização do Trabalho	7
CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1. Marco Conceptual	10
2.2. Desenvolvimento circunstancial, descritivo e detalhado do fenómeno em estudo.....	11
2.2.1. Tipos de Impermeabilização	11
2.2.2. Partes de edifícios que requerem impermeabilização	13
2.2.3. Acção da água nas estruturas	14

2.2.3.1. Humidade de Infiltração	15
2.2.3.2 Humidade ascensional	17
2.2.2.3 Humidade por condensação	18
2.2.3.4 Humidade de obra	19
2.2.3.5 Humidade acidental	19
2.2.4. Alguns problemas ocorridos na falta de impermeabilização	20
2.2.4.1. Bolor	20
2.2.4.2 Corrosão	21
2.2.4.3 Ferrugem	21
2.2.4.4 Eflorescência.....	22
2.2.5 Classificação dos sistemas de impermeabilização.....	23
2.2.5.1 Sistemas rígidos	23
2.2.5.2 Sistemas flexíveis.....	23
2.2.5.3 Etapas posteriores ao processo da impermeabilização	24
2.2.5.4 Isolamento térmico.....	24
2.2.5.5 Protecção mecânica.....	26
2.2.6 Durabilidade da impermeabilização	27
2.2.7 Sistemas de Impermeabilização.....	28
2.2.8. Manta termoplástica de poliolefina - TPO	28
2.2.8.1. TPO Composição	29
2.2.8.2. A Soldabilidade.....	30
2.2.8.3. Propriedades físicas	30
2.2.9. Teste de Estanqueidade.....	33

2.2.10. Vantagens da membrana TPO	33
2.2.11. Desvantagens da membrana TPO	34
2.3. Fundamentação Teórica.....	35
2.4. Marco Referencial	39
2.4.1. Estudos Internacionais:.....	40
2.4.2. Estudos Regionais e Nacionais:.....	41
CAPÍTULO III – METODOLOGIA	43
3.1. Tipo de estudo e desenho da pesquisa.....	43
3.1.1. Tipo de estudo.....	43
3.1.2. Desenho da pesquisa.....	44
3.2. Técnicas e instrumentos de recolha de dados	45
3.2.1. Técnicas de recolha de dados	45
3.2.2. Instrumentos para recolha e tratamento de dados.....	46
3.3. População e Amostra.....	46
3.4. Procedimentos administrativos de recolha de dados	47
3.4.1. Tipo de Amostragem	47
3.4.2. Critérios de Inclusão	47
3.4.3. Critérios de Exclusão	47
3.4.4. Procedimentos.....	47
3.4.5. Procedimentos de Recolha de Dados.....	48
CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS	49
4.1. Coleta de Dados.....	49
4.1.1 Seleção do Aeroporto	49

4.1.2 Inspeções Visuais e Observações In Loco	49
4.1.3 Entrevistas com a Equipe de Manutenção	50
4.1.4 Análise de Documentação	51
4.2. Proposta de Solução: Aplicação da Membrana TPO	52
4.2.1. Procedimentos de Instalação da Membrana TPO	53
4.3. Actividades desenvolvidas em obra	55
4.3.1. Limpeza da membrana anterior (membrana PVC) e de toda a superfície de aplicação da tela	55
4.3.2. Tratamento anticorrosivo para os perfis metálicos que asseguram estrutura da cobertura.	55
4.3.3. Transporte e armazenamento dos rolos e as máquinas na cobertura	56
4.3.4. Aplicação da tela e instalação do canal de água para o teste de estanquidade	56
4.3.5. Atualização do mapa de avanço	57
4.3.6. Estudo no canal do ralo de escoamento	58
4.3.7. Segundo teste de estanquidade	59
4.3.8. Aprovação dos resultados	59
4.3.9. Abertura do ralo para o escoamento da água e a remoção dos instrumentos de trabalho	59
CAPÍTULO V – DISCUSSÃO DE RESULTADOS	60
5.1. Qualidade da Instalação	60
5.2. Desempenho em Condições Climáticas	61

5.3. Durabilidade e Manutenção.....	61
5.4. Impacto Ambiental	62
5.5. Custo-benefício.....	62
CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	64
6.1. Conclusão	64
6.2. Recomendações	65
CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à todas as pessoas que contribuíram para a realização desta monografia.

Primeiramente, agradeço à minha mãe e irmãos, que sempre me apoiaram e incentivaram a perseguir meus sonhos acadêmicos. Seu amor e apoio foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço ao meu supervisor, pela orientação, paciência e apoio ao longo deste processo. Sua experiência e conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores do Curso de Engenharia Civil, que forneceram aprendizados valiosos e orientação acadêmica durante minha graduação.

Agradeço também aos meus colegas de classe, por juntos termos labutado em prol do alcance da nossa licenciatura.

Por fim, agradeço a mim mesmo, como uma forma de reconhecimento do meu esforço, dedicação e perseverança ao longo desta jornada acadêmica.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Ana de Oliveira Antônio, e aos meus irmãos, Nésio e Gamina, pela inabalável confiança, amor e apoio incondicional ao longo de toda a minha jornada acadêmica. Sem eles, esta conquista não teria sido possível.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Actuações dos fluidos em um mesmo edifício. Fonte: Verçoza (1991)	15
Figura 2- Forro de uma residência com manchas de humidade por infiltração. Fonte: Pozzobon (2007 apud Schönardier 2009).....	16
Figura 3 - Fenómeno da humidade por Infiltração (Fonte: Marinho, 2014).	16
Figura 4 - Mecanismos de humidade por capilaridade.....	17
Figura 5 - Humidade ascensional (Fonte: Sika , 2017)	17
Figura 6 - Humidade gerada através de condensação (Fonte: Sika , 2017).....	19
Figura 7 - Vazamento da tubulação em foro de gesso (Fonte: Marinho, 2014)	20
Figura 8 - Disposição do isolamento em relação à impermeabilização.	25
Figura 9 – Inspeção da Cobertura	50
Figura 10 – Emendas na antiga membrana.....	51
Figura 11 - Estado da antiga membrana impermeabilizante	52
Figura 12 – Corrosão dos perfis metálicos	56
Figura 13 – Rolos de membrana TPO	56
Figura 13 - Aplicação completa por cada quadrante, e começo do teste de estanquidade	57
Figura 14 - Mapa de avanço das actividades	58
Figura 15 - Estruturas metálicas da cobertura	58
Figura 16 - Realização do teste de estanquidade	59

LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

TPO – Termoplástica Poliolefina

ASTM – American Society for Testing and Materials

NBR – Norma Brasileira

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

UV – Ultra-Violeta

PVC – Polyvinyl chloride

RESUMO

As coberturas expostas a intempéries estão sujeitas à patologias como infiltrações, escorrimentos, gotejamentos e outros. Para evitar esses problemas, muitas vezes é necessário impermeabilizar estas superfícies. O presente trabalho foi elaborado, com a proposta de demonstrar através de estudo de caso, a aplicação da Membrana Termoplástica Poliolefina (TPO) com a finalidade de impermeabilizar coberturas, solucionando assim os problemas decorrentes da infiltração através das coberturas de aeroportos. A metodologia adoptada envolveu pesquisa em livros, dissertações, trabalhos de conclusão, artigos e normas técnicas, sobre impermeabilização e a aplicação do sistema TPO. Com intuito de simular condições reais da aplicação do sistema TPO, fez-se o acompanhamento da impermeabilização da cobertura dos Aeroportos de Moçambique com uma área de 9,940m², divididos em 15 quadrantes (15 painéis de 22x22m). Desde os finais de 2018, o edifício vinha agravando os problemas de infiltração e vazamentos de canalização, portanto houve necessidade da intervenção do sector de infraestruturas para solução a este grande problema. Posteriormente fez-se a aplicação do sistema TPO e por fim, a realização do ensaio de estanqueidade. Os resultados da aplicação do sistema TPO em coberturas permitiu analisar a eficiência da impermeabilização, que se mostrou satisfatório. Após a aplicação do sistema foi-se realizado os ensaios de estanqueidade, onde foram verificados que não houveram perda da lamina d'água no protótipo, assim os ensaios de estanqueidade constaram que a aplicação do sistema TPO atende aos requisitos estabelecidos pelas normas vigentes. Assim sendo, o presente trabalho servi de metodologia para estudos futuros e para aplicação da impermeabilização com a membrana termoplástica poliolefina em coberturas de aeroportos. Recomenda-se que em estudos futuros sejam realizados os ensaios termodinâmico, acústico e durabilidade que

não foram apresentados neste trabalho, no intuito de averiguar o comportamento do material aplicado em cobertura.

Palavras-chave: Termoplástica; Impermeabilização; Estanqueidade.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1 Introdução

A impermeabilização é definida como sendo uma metodologia adoptada através do uso de sistemas impermeáveis, com o objectivo de proteger as construções contra infiltração de natureza diversas, evitando que tais agentes agressores destruam o local a ser protegido (SILVA, 2023).

Segundo Bornscheim (2010), “as coberturas são lugares sensíveis ao acúmulo de águas pluviais e estão especialmente sujeitas a patologias como infiltrações, escorrimentos, gotejamentos e outros. Para evitar esses problemas, muitas vezes é necessário impermeabilizar estas superfícies”. Actualmente, o sistema de membranas é o segmento que mais cresce no mercado de telhados comerciais e industriais ao redor do mundo. Neste sector, pode-se destacar as membranas de TPO, um termoplástico de poliolefinas que é instalado em telhados existentes ou, como próprio telhado, sobre um deque de metal, OSB ou qualquer outro material.

A impermeabilização é uma técnica fundamental na construção civil, especialmente em estruturas expostas a condições climáticas adversas, como coberturas de aeroportos. A membrana TPO (Poliolefina Termoplástica) tem ganhado destaque como um material de impermeabilização de alta eficiência em coberturas, devido às suas propriedades de resistência ao calor, à humidade e à abrasão. No entanto, a eficácia do uso da membrana TPO em coberturas ainda não foi amplamente estudada, especialmente em países com climas tropicais como Moçambique (SILVA, 2023).

Neste contexto, este trabalho propõe-se a mostrar os resultados de análise da eficiência da membrana termoplástica TPO, utilizando como estudo de caso, sua aplicação em campo numa cobertura de área de 9,940m² que está localizada nas instalações dos Aeropotos de Moçambique.

Este estudo tem como objectivo analisar a eficiência do uso da membrana TPO como impermeabilizante em coberturas, com foco nos aeroportos de Moçambique. Será realizado um estudo de caso para avaliar a aplicação prática da membrana TPO em coberturas de aeroportos moçambicanos, considerando factores como durabilidade, resistência a intempéries e custo-benefício.

1.1 Delimitação do tema

Este trabalho focará na análise das propriedades, vantagens e desvantagens e eficiência da membrana TPO (Poliolifina Termoplástica) como opção de impermeabilização de coberturas na construção civil. A delimitação do tema se dará nos seguintes aspectos:

O estudo será centrado na aplicação da membrana TPO em projectos de impermeabilização de coberturas em edificações, com especial enfoque no edifício dos Aeroportos de Moçambique.

O período de análise será focado nos últimos 20 anos, com ênfase nos estudos e avanços relacionados à membrana TPO e sua eficácia como sistema de impermeabilização de coberturas. Serão considerados estudos, pesquisas e avanços tecnológicos desenvolvidos desde o início do século XXI até os dias atuais.

Essa delimitação permitirá uma análise mais específica e actualizada sobre o uso da membrana TPO como solução de impermeabilização de coberturas, fornecendo informações relevantes para profissionais da construção civil, engenheiros, arquitetos e demais interessados no tema.

1.2 Problema de investigação

O principal problema que surge no âmbito da engenharia civil quando a água em seu estado líquido ou gasoso penetra em uma estrutura é o aparecimento de manifestações patológicas. Essas, além de causar prejuízos materiais, podem levar a danos à saúde, visto que o surgimento de mofo, caracterizado pela presença de humidade em uma parede, pode causar um grande desconforto. Assim, a impermeabilização busca proteger as edificações de deteriorações e agressões que podem ser causadas pela humidade.

Os problemas causados por infiltração podem gerar danos estruturais a longo prazo, pois a percolação da água em uma estrutura de concreto armado gera corrosão das armaduras, conseqüente perda de secção do aço, destacamento do concreto comprometendo a resistência da estrutura e o comprometimento das instalações eléctricas (VEDACIT, 2010).

Face a situação exposta anteriormente, este projecto será elaborado de modo a responder a seguinte pergunta:

O quão eficiente é a membrana TPO como impermeabilizante em coberturas?

Hipótese 1:

A membrana TPO apresenta uma eficiência superior como impermeabilizante em coberturas quando comparada a outras alternativas disponíveis no mercado, devido às suas propriedades de resistência à água, durabilidade e desempenho térmico.

Hipótese 2:

A eficiência da membrana TPO como impermeabilizante em coberturas é influenciada por factores como as condições climáticas locais, métodos de instalação, tipo de cobertura e práticas de manutenção, sendo essenciais para otimizar seu desempenho ao longo do tempo.

1.3 Objectivos da investigação

1.3.1 Objectivo Geral

- Analisar a eficiência da membrana TPO como impermeabilizante em coberturas.

1.3.2 Objectivos específicos

- Avaliar as Propriedades da Membrana TPO;
- Avaliar o Desempenho da Membrana em Diferentes Condições Climáticas;
- Estudar a Eficiência da Membrana TPO;
- Avaliar a Influência do Método de Instalação na Eficiência da Membrana;
- Examinar a Manutenção e Durabilidade da Membrana TPO ao Longo do Tempo;
- Avaliar o Impacto Económico da Utilização da Membrana TPO em Coberturas.

1.4. Justificativa do tema

A elaboração do PFC a seguir foi fundamentada através de diversos casos patológicos encontrados na construção civil por conta da má impermeabilização ou até mesmo a falta dela. O trabalho visa mostrar também o quanto é importante um estudo preliminar para o desenvolvimento do projeto de impermeabilização, evitando trabalhos redobrados após a conclusão da obra.

O termo patologia vem de origem grega que significa o estudo das doenças, na medicina pode ser usado como estudos investigativos referentes às alterações estruturais e funcionais das células, dos tecidos e dos órgãos, provocados por doenças. Assim como o esqueleto humano é para o médico, a estrutura de uma casa ou prédio é para o engenheiro civil. Essas patologias

podem se manifestar de diversos tipos, tais como: trincas, fissuras, infiltrações e danos por humidade excessiva na estrutura. Por ser encontrada em diversos aspectos, recebe o nome de manifestações patológicas (SILVA, 2017).

Cruz (2003 apud Righi, 2009) indicou um estudo de uma seguradora francesa com dez mil situações de sinistros. Este estudo apontou as principais causas dessas patologias que levaram a estas vias de fato. Entre as falhas, 43% se apresentaram por falha na execução, 43% por falhas de projecto, 8% por má utilização e 6% por materiais usados indevidamente ou de má qualidade. Esses dados revelam um equilíbrio entre o planeamento e a execução.

Antecipar problemas na fase de projecto mostra-se essencial quando o assunto em foco é impermeabilização. Muitas vezes, a sua implantação é deixada de lado, seja por contenção de custos ou falta de informações sobre as consequências de sua ausência. O custo de implantação da impermeabilização em uma construção representa em torno de 1 a 3% do custo total da obra. Porém, se os serviços forem executados apenas depois de constatar problemas com infiltrações no edifício concluído, o custo com impermeabilização ultrapassará muito este percentual. Isto porque refazer o processo pode gerar acréscimo de 10 a 15% do valor do serviço, incluindo os transtornos que não são poucos (RIGHI, 2009).

1.5. Descrição das características do ambiente de estudo

A área de estudo deste trabalho compreende o sector da construção civil, mais especificamente a impermeabilização de coberturas de edifícios. Nesse contexto, serão consideradas as características específicas do ambiente de estudo, incluindo:

- **Sector da Construção Civil:** O ambiente de estudo está inserido no setor da construção civil, que desempenha um papel fundamental na infraestrutura urbana e no desenvolvimento socioeconómico. A impermeabilização de coberturas é uma etapa essencial na construção de edifícios, visando garantir a durabilidade, integridade e segurança das estruturas contra infiltrações de água e humidade.
- **Aplicação da Membrana TPO:** O foco principal desta monografia é a análise da membrana TPO (Poliolifina Termoplástica) como sistema de impermeabilização de coberturas. A membrana TPO é uma opção cada vez mais popular devido às suas propriedades físicas, vantagens e eficácia na protecção das estruturas contra os efeitos nocivos da água e dos elementos.
- **Tipos de Coberturas:** Serão considerados diferentes tipos de coberturas, incluindo coberturas planas, inclinadas e curvas. A aplicação da membrana TPO em cada tipo de cobertura apresenta desafios e considerações específicas que serão abordados neste estudo.
- **Localização Geográfica:** Embora o estudo não esteja restrito a uma localização geográfica específica, será considerado caso de aplicação da membrana TPO nas instalações dos Aeroportos de Moçambique, em Maputo.
- **Período de Análise:** O período de análise compreenderá os últimos 20 anos, com ênfase nos desenvolvimentos tecnológicos e na evolução do uso da membrana TPO como

sistema de impermeabilização de coberturas. Serão considerados estudos, pesquisas e avanços relacionados à eficácia, durabilidade e sustentabilidade da membrana TPO.

1.6. Organização do Trabalho

Para elaboração do presente trabalho foram divididos 7 capítulos principais e os seus respectivos subcapítulos apresentados da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução:

A introdução da monografia fornece uma visão geral do problema a ser abordado, destacando a importância da impermeabilização em coberturas de infraestruturas críticas como os aeroportos em Moçambique. Serão apresentados os objectivos do estudo, a justificativa para a escolha do tema e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica:

Nesta secção, são revisados os principais conceitos relacionados à impermeabilização de coberturas, com foco na membrana TPO (Poliolifina Termoplástica). São discutidos os materiais utilizados na impermeabilização de coberturas, suas propriedades, vantagens e desvantagens, bem como estudos anteriores que investigaram a eficiência da membrana TPO em diversas aplicações, com ênfase nas condições específicas encontradas nos aeroportos de Moçambique.

Capítulo 3 - Metodologia:

É detalhada a metodologia utilizada no estudo, incluindo a selecção dos aeroportos em Moçambique como caso de estudo, os critérios de selecção das coberturas analisadas, os procedimentos de coleta e análise de dados, e as ferramentas utilizadas para avaliar a eficiência

da membrana TPO como impermeabilizante em um contexto específico de clima, infraestrutura e padrões de construção em Moçambique.

Capítulo 4 - Análise dos Dados:

Nesta secção, são apresentados e discutidos os resultados da análise dos dados coletados nos aeroportos de Moçambique. Serão avaliadas a eficiência e a durabilidade da membrana TPO como impermeabilizante em diferentes condições climáticas, de tráfego aéreo e de manutenção, levando em consideração as particularidades dos aeroportos moçambicanos.

Capítulo 5 – Discussão dos Resultados:

Serão discutidas as implicações dos resultados obtidos, destacando as vantagens e desvantagens do uso da membrana TPO em coberturas de Aeroportos em Moçambique. Serão abordadas as questões relacionadas à viabilidade económica, ambiental e de desempenho técnico, considerando as necessidades específicas do país e as diretrizes internacionais de segurança aeroportuária.

Capítulo 6 - Conclusão:

A conclusão resume os principais achados do estudo e suas contribuições para o conhecimento sobre a eficiência do uso da membrana TPO como impermeabilizante em coberturas de aeroportos em Moçambique. São destacadas as limitações do estudo e sugeridas áreas para pesquisas futuras, visando melhorias na infraestrutura aeroportuária do país.

Referências Bibliográficas:

É apresentada uma lista de todas as fontes utilizadas na elaboração da monografia, seguindo as normas de citação e referência adotadas, com ênfase em estudos relacionados à impermeabilização de coberturas em contextos similares ao de Moçambique.

CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Marco Conceptual

- **Impermeabilização**

Segundo a NBR (9575/2003), impermeabilização é o produto resultante de um conjunto de componentes e serviços que objectivam proteger as construções contra a ação de fluídos, de vapores e da humidade.

Impermeabilização é sinônimo de não deixar passar água, sua função é proteger os sistemas prediais e todos os problemas que a água pode causar no betão, armaduras, madeira e assim afectar as instalações eléctricas.

A impermeabilização é muito importante para a longevidade de uma edificação, pois os contaminantes do ar e da água podem causar danos irreversíveis e perdas significativas à estrutura e enormes prejuízos financeiros. Portanto, a impermeabilização é de extrema importância para a segurança dos edifícios e do meio ambiente do utilizador (SILVA, 2017).

- **Membrana TPO (Polioléfina Termoplástica)**

Material sintético utilizado como impermeabilizante em coberturas, fabricado a partir de poliolefinas termoplásticas. A membrana TPO é conhecida por sua durabilidade, resistência a intempéries, flexibilidade e facilidade de instalação.

- **Cobertura**

Parte superior de um edifício que tem a função de proteger o interior do edifício contra intempéries, como chuva, sol, vento, neve, entre outros. As coberturas podem ser planas ou inclinadas e são frequentemente impermeabilizadas para evitar infiltrações de água.

- **Infraestrutura Aeroportuária**

Conjunto de instalações, equipamentos e serviços necessários para o funcionamento de um aeroporto. Isso inclui pistas de pouso e decolagem, terminais de passageiros, torres de controle, pátios de estacionamento de aeronaves, sistemas de drenagem e, é claro, as coberturas dos edifícios do aeroporto.

- **Durabilidade**

Capacidade de um material ou sistema de manter suas características e desempenho ao longo do tempo, mesmo quando sujeito a condições ambientais adversas e à acção do tempo.

- **Resistência a Intempéries**

Capacidade de um material ou sistema de resistir aos efeitos de condições climáticas adversas, como chuva, vento, radiação solar, variações de temperatura, humidade, entre outros.

2.2. Desenvolvimento circunstancial, descritivo e detalhado do fenómeno em estudo

2.2.1. Tipos de Impermeabilização

Conforme a NBR 9575/2003, os sistemas impermeabilizantes podem ser divididos em rígidos e flexíveis, que estão relacionados às partes construtivas sujeitas ou não a fissuração.

- **Impermeabilização Rígida**

De acordo a NBR 9575/2003, a impermeabilização rígida é o conjunto de materiais ou produtos que não apresentam características de flexibilidade compatíveis a aplicáveis às partes construtivas sujeitas a movimentação do elemento construtivo. Os

impermeabilizantes rígidos não trabalham junto com a estrutura, o que leva a exclusão de áreas expostas a grandes variações de temperatura.

Sua aplicação é recomendada em partes mais estáveis da edificação. São locais menos sujeitos ao aparecimento de trincas e fissuras, que poderiam comprometer a impermeabilização. Por isso, sua principal utilização ocorre em fundações, pisos internos em contacto com o solo, contenções e piscinas enterradas (FERREIRA, 2014).

Segundo Ferreira (2014), a impermeabilização rígida, que não está sujeita a fissuração, tem por composição os seguintes materiais:

- a) Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo;
- b) Argamassa modificada com polímero;
- c) Argamassa polimérica;
- d) Cimento cristalizante para pressão negativa;
- e) Cimento modificado com polímero;
- f) Membrana epoxídica.

- **Impermeabilização Flexível**

A impermeabilização flexível é definida pela NBR 9575/2003 como um (...) conjunto de materiais ou produtos que apresentam características de flexibilidade compatíveis e aplicáveis às partes construtivas sujeitas à movimentação do elemento construtivo. Para ser caracterizada como flexível, a camada impermeável deve ser submetida a ensaio específico.

Os tipos de produto são formados por:

- a) Membrana de polímero modificada com cimento

- b) Membrana de asfalto modificado sem adição de polímero;
- c) Membrana de asfalto modificado com adição de polímero elastomérico;
- d) Membrana de poliuretano;
- e) Membrana de poliuretano modificado com asfalto;
- f) Membrana de emulsão asfáltica;
- g) Membrana elastomérica de poliisobutileno-isopreno em solução;
- h) Membrana de asfalto elastomérico em solução;
- i) Membrana poliureia;
- j) Manta asfáltica;
- k) Manta elastomérica de poliisobutileno-isopreno;
- l) Manta policloreto de vinila;
- m) Manta polietileno de alta densidade.

2.2.2. Partes de edifícios que requerem impermeabilização

Righi (2009) indica os ambientes de uma edificação que devem ser impermeabilizados:

- a) Telhados e coberturas planas;
- b) Terraços e áreas descobertas;
- c) Calhas de escoamento das águas pluviais;
- d) Caixas d'água, piscinas e floreiras;
- e) Pisos molhados, como banheiros, áreas de serviços, lavanderias, etc.;
- f) Marquises;
- g) Paredes externas sob efeito de intempéries (chuvas, neve, ventos, etc.);

- h) Junta de dilatação estrutural e lesões em estruturas;
- i) Esquadrias, peitoris de janelas e soleiras de portas externas;
- j) Muros de arrimos;
- k) Subsolos.

2.2.3. Acção da água nas estruturas

A água é uma das maiores causas de patologias prediais, problemas que geram defeitos muito graves e de difícil resolução, tais como:

- Prejuízos na funcionalidade do edifício;
- Danos em materiais e bens que se encontram dentro do imóvel;
- Além do estresse e desconforto aos usuários, a humidade pode afetar a saúde, como por exemplo, desenvolver doenças respiratórias;

De acordo com Verçoza (1991) a humidade age como factor determinante para grande parte das patologias na construção civil. Ela é factor determinante para o aparecimento de mofo, eflorescência, bolores, ferrugens, perda de rebocos, de pinturas e até a causa de problemas estruturais.

Pode-se ter diversas formas de acção da água nas edificações, sabendo qual o tipo de infiltração podemos escolher a melhor forma de como vamos impermeabilizar, na figura 1 podemos visualizar um mesmo edifício que sofre com todos os tipos de actuação dos fluidos.

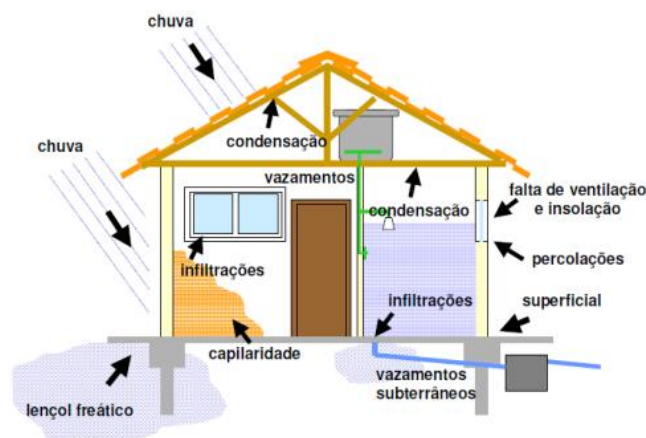


Figura 1 - Actuações dos fluidos em um mesmo edifício. Fonte: Verçoza (1991)

A presença de humidade em uma edificação pode ser causada por diversos mecanismos:

2.2.3.1. Humidade de Infiltração

A água flui da zona externa para a zona interna através de fissuras, fendas, aberturas ou rupturas de interface entre elementos (por exemplo, no caso de vedação insuficiente da moldura), causando infiltração e, portanto, humidade.

Em geral é motivada pela água da chuva, que combinada com o vento gera um crescimento dos efeitos. Um exemplo deste problema está apresentado na figura 2.

Segundo Lersch (2003) existem aspectos importantes e necessários de serem avaliados, relacionados ao edifício, como:

- (i) Das condições climáticas do local, direcção e intensidade do vento e da chuva;
- (ii) Detalhes das fachadas dos edifícios, se existem pingadeiras e molduras, para a protecção das juntas, janelas, paredes e portas;
- (iii) Estanqueidade à água de elementos como portas e janelas e sistema impermeabilizante nas paredes e pintura;

(iv) Manutenção e avaliação do desempenho do edifício, ao longo do tempo.

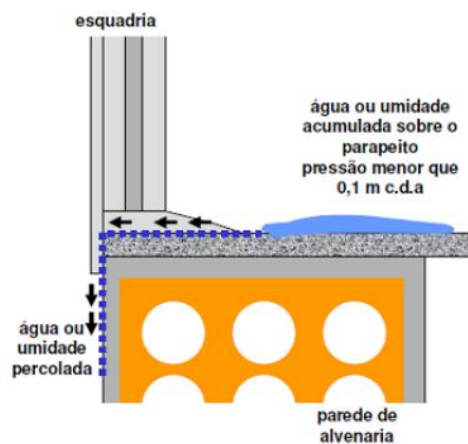


Figura 2- Forro de uma residência com manchas de humidade por infiltração. Fonte: Pozzobon

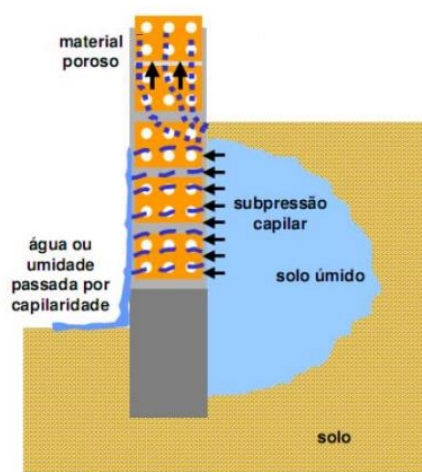
(2007 apud Schönardier 2009)



Figura 3 - Fenómeno da humidade por Infiltração (Fonte: Marinho, 2014).

2.2.3.2 Humidade ascensional

Em uma construção esse tipo de humidade está relacionado ao contacto de algum elemento como por exemplo (tijolos, concretos porosos, etc.) com a presença do solo húmido, esse fenómeno pode ser sazonal ou frequente em solos que tem presença de lençóis freáticos superficiais. A humidade ocorre através de uma ação chamada capilaridade, no qual pequenos vasos capilares, espaços ou poros permitem que a água suba até encontrar o seu equilíbrio com a força da gravidade, segundo Verçoza (1991 apud Souza, 2008 p.9) da área isso não costuma passar de 80cm de altura, este episódio é maior em paredes e pisos. Na figura 4 pode-se visualizar o fluxo de água presente no solo através do fenómeno de capilaridade existente.



Fonte: Pozzobon (2007 apud Schönardier 2009, p.19).

Figura 4 - Mecanismos de humidade por capilaridade.



Figura 5 - Humidade ascensional (Fonte: Sika,2017)

Segundo Soares (2014) os efeitos da humidade ascendente podem ser observados das seguintes maneiras:

- Paredes: os efeitos são variados e ocorrem a partir do piso, sendo bolhas, manchas e eflorescência na pintura com desgaste do revestimento sendo ele emboço, reboco e acabamento;

- Paredes com revestimento cerâmico: pode haver uma capacidade de ascensão da humidade, pois a mesma fica restrita ou confinada pelo revestimento cerâmico. Quando a humidade é muito severa pode acontecer o destacamento do revestimento cerâmico.

2.2.2.3 Humidade por condensação

É produzida pela falta de entrada de ar no ambiente, quando o vapor da água existente no interior de um local (sala, cozinha, dormitórios, etc.) entra em contato com superfícies mais frias como vidros, metais, paredes e outros, formando pequenas gotas de água. Segundo Souza (2008) a impermeabilização não permite a infiltração de água, mas é a circulação de ar que torna o ambiente saudável, não deixando proliferar o mofo. A presença de humidade nas casas provoca doenças respiratórias.

Segundo Righi (2009), os materiais têm diferentes densidades, e cada material se comporta diferente com a condensação, os materiais mais densos sofrem mais do que os de menor densidade, a condensação costuma aparecer de forma mais superficial nos elementos, sem penetrar grandes profundidades.

Segundo Franco professor e pesquisador da Poli-USP, o dimensionamento das esquadrias adequado ao ambiente é o suficiente para resolver esse problema, quando o ambiente for muito úmido o ideal é colocar esquadrias com ventilação permanente, assim evita o excesso de vapores gerado nesses lugares.

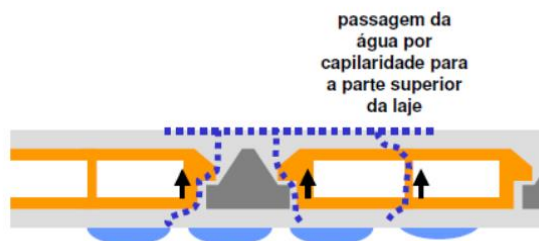


Figura 6 - Humidade gerada através de condensação (Fonte: Sika , 2017)

2.2.3.4 Humidade de obra

É a humidade presente em uma edificação após a finalização das actividades da obra, no qual a água que está presente internamente e tende a desaparecer gradualmente. Segundo Queruz (2007), um exemplo deste quadro é quando existe excesso de água na argamassa de reboco, e esta água é infiltrada para a parte interna da alvenaria, com isso resulta em um aumento do tempo para a cura prevista do reboco entrar em equilíbrio com o ambiente. Segundo Verçoza (1987) outro exemplo é com madeiras “verdes” que tem de 15 a 40% do seu peso em água, quando pintadas ao longo do tempo elas deslocam a pintura devido a exteriorização desta água para o ambiente.

2.2.3.5 Humidade acidental

É a humidade causada por problemas nas tubulações de rede pluvial, esgoto, água potável, gás, etc., gerando infiltrações. Em construções mais antigas deve-se tratar com grande importância as manutenções preventivas, para não haver a possibilidade do surgimento de vazamentos devido o tempo de vida desses materiais já terem excedidos. Segundo Verçoza (1991) vazamentos de redes de água e esgoto é de difícil identificação do local e de sua

correção. Isso acontece, pois, a maioria das vezes as tubulações estão escondidas pela construção, quando descoberto o vazamento a infiltração já causou bastante danos a edificação.



Figura 7 - Vazamento da tubulação em foro de gesso (Fonte: Marinho, 2014)

2.2.4. Alguns problemas ocorridos na falta de impermeabilização

2.2.4.1. Bolor

O Bolor ou também chamado de Mofos, são nomes dado aos fungos, eles se mostram como manchas escuras, com tonalidades pretas, marrom, ou verde e/ou ocasionalmente manchas esbranquiçadas ou amareladas. A causa principal desses fungos (Bolor ou Mofo), sem dúvida são as humidades, a quantidade de água que passam nos materiais, neste caso no concreto, nas lajes exposta a chuva, essa atividade constante da água no concreto determina o crescimento dos fungos, que são prejudiciais para a saúde humana, pois os esporos que circulam pelo ar e que inalados podem produzir alergias, que são piores para pessoas que já são alérgicas, que tem bronquite, asma, causando dores de cabeça, até mesmo infecções na pele, nos casos mais graves podem ocorrer problemas nos rins e fígado ou aparecimentos de doenças cancerígenas. De acordo com Yazigi (1998), “o bolor ou emboloramento tem como característica o

desenvolvimento de microorganismos pertencentes ao grupo dos fungos. Em geral possuem uma coloração esverdeada, e desenvolvem em diversos materiais”.

2.2.4.2 Corrosão

A corrosão consiste na deterioração dos materiais pela acção química ou eletroquímica, a corrosão é uma ligação ácido/água, no caso da corrosão ocorre no meio ácido, o produto será sal e água; podendo estar ou não associado a esforços mecânicos. A corrosão pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços ou cerâmicas ou betão. Ao contrário da ferrugem, a corrosão do aço inoxidável é altamente localizada e aparentemente aleatória. Pequenos buracos podem corroer uma espessura substancial de aço em relativamente pouco tempo. Estes buracos podem causar vazamentos ou agir como pontos de ruptura, de onde se originam quebras. Os processos de corrosão eletroquímica são mais freqüentes na natureza e se caracterizam basicamente por: Necessariamente na presença de água no estado líquido; temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água, sendo a grande maioria na temperatura ambiente. Essa corrosão acontece quando os materiais da construção ficam húmidos, os mesmos abrigam bactérias (RIGHI, 2009).

2.2.4.3 Ferrugem

Com a infiltração na laje de cobertura, as ferragens ao longo da vida útil acabam em ficar expostas, e com a humidade nas ferragens, ocorre o processo de oxidação do ferro. A ferrugem é o nome popular do óxido de ferro (QUERUZ, 2007).

Como nós vivemos na era do aço, que é uma liga ferro-carbono, sofremos com a oxidação desse material. Não existem peças de ferro, só existem peças de aço. Dizer que uma

peça é feita de ferro é errado, certo é dizer que ela é feita em aço. O ferro puro não é bom para a fabricação de produtos. A oxidação é a reação química do oxigênio da atmosfera com as partículas do ferro contido no aço. Essa reação ocorre porque o oxigênio é um elemento químico que tem o maior poder de reação conhecido. Quando colocamos uma peça fabricada em aço em contato com o ar, as partículas de oxigênio atacam a superfície dessa peça reagindo com o ferro do aço e corroendo a peça. O processo de corrosão deterioração por ferrugem é o resultado dessa reação química. Existem alguns tipos de ferrugem, mas aquela amarelona mais conhecida é Fe_2O_3 e está presente tanto nas peças e aço que deixamos na chuva como no melhor minério de ferro conhecido. Desse modo o material do aço em contato com oxigênio presente na água e no ar se oxida e desta reação surgem a ferrugem, que deteriora pouco a pouco o material original, colocando em sério risco a edificação (QUERUZ, 2007).

2.2.4.4 Eflorescência

Eflorescência são aquelas manchas esbranquiçadas que surgem na superfície, este problema é causado quando a tinta foi aplicada em um reboco não curado, ou na maioria dos casos quando a presença de humidade pela falta da impermeabilização. De acordo com Campos (2011), “Eflorescência é a formação de sais solúveis, que se depositam nas superfícies dos materiais, carreados do seu interior pela humidade que os atravessa formando manchas brancas, ou em outras situações aumentando o volume, na forma de estalactites”. Os teores desses sais solúveis podem existir nos materiais ou nos componentes dos materiais, quando há presença de água junto com a pressão hidrostática necessária para que a solução migre para superfície, a água em geral é proveniente da humidade do solo, da água de chuva acumulada antes da cobertura da obra infiltrada através de alvenarias, entre outros.

2.2.5 Classificação dos sistemas de impermeabilização

2.2.5.1 Sistemas rígidos

O sistema rígido tem baixa capacidade de absorver deformações da base, principalmente deformações concentradas, em fissuras e trincas, sendo assim vulnerável a exposição ao sol e a chuva, alguns exemplos de impermeabilização rígida: Argamassa impermeável com aditivo hidrófugo, cristalizantes, cimento impermeabilizantes de pega ultra-rápida. Sistemas esses que não são indicados para lajes de coberturas, por isso não entrarão em discussão.

Segundo Klein (2002), “os sistemas rígidos são aplicáveis em estruturas sujeitas a mínimas variações térmicas, pequenas vibrações e/ou exposição solar”. Esses sistemas rígidos geralmente são empregados em lugares que não entrará em contato constante com o sol e a chuva, exemplo: subsolos, roda-pé, galerias enterradas, caixa d’águas inferiores.

2.2.5.2 Sistemas flexíveis

Ao contrário da rígida, os flexíveis suportam deformações da base com amplitudes variáveis. O sistema flexível é o usado para laje de cobertura, sendo resistente a mudança brusca de temperatura (sol e chuva, frio e calor).

Segundo Klein (2002), “os sistemas flexíveis são aplicáveis em estruturas sujeitas a variações térmicas diferenciadas e/ou grandes vibrações, cargas dinâmicas, recalques e/ou forte exposição solar”. Esse sistema geralmente é usado em: terraços, lajes de coberturas que é nosso caso, pilotis expostos, piscinas suspensas, fossos, reatores de usinas nucleares, jardins suspensos, calhas de grandes dimensões de barragens, galerias de trens metropolitanos, dentre outros.

2.2.5.3 Etapas posteriores ao processo da impermeabilização

Segundo Righi (2009), após a aplicação dos impermeabilizantes, deve-se fazer a protecção da impermeabilização, proteções mecânicas e isolamento térmico. Para isso é importante fazer as seguintes verificações:

- a) Se a superfície está sem irregularidades e com bom aspecto;
- b) O embutimento nos pluviais e canaletas;
- c) Verificar o caimento final;
- d) Após a aplicação dos produtos impermeabilizantes, fazer a protecção mecânica de transição; e) Fazer testes finais, detalhados.

2.2.5.4 Isolamento térmico

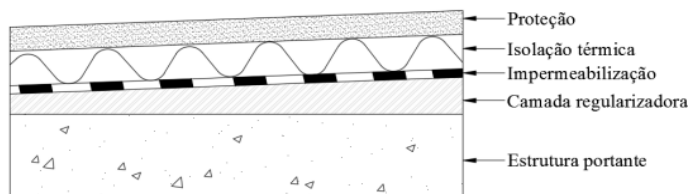
Segundo a NBR 9575/2003, o isolamento térmico é a camada com a função de reduzir o gradiente de temperatura que atua sobre a camada impermeável, sim evita os efeitos danosos do calor excessivo.

As estruturas tendem a dilatar e retrain, quando isso acontece essas movimentações na estrutura pode ocasionar fissuras, prejudicando a impermeabilização, ocasionando infiltrações que irão deteriorar a estrutura.

Para diminuir os efeitos das dilatações na estrutura, deve-se tomar algumas medidas, como, isolar termicamente a laje de cobertura, optar por elementos construtivos com menor comprimento possível entre as juntas de dilatação e não confinar elementos de construção entre perímetros rígidos, sem juntas de dilatação Cunha (1979 apud Righi, 2009).

Para que a impermeabilização tenha um melhor desempenho, deve-se receber um isolamento térmico adequado. Esse isolamento pode ser colocado de duas maneiras diferentes, sobre a impermeabilização ou o contrário, com a impermeabilização sobre o isolamento térmico.

A figura abaixo representa o esquema de uma impermeabilização usando isolamento térmico e protecção mecânica em uma laje de cobertura.



Fonte: Picchi (1986, p.42).

Figura 8 - Disposição do isolamento em relação à impermeabilização.

Vantagens de colocar a isolação térmica sobre a impermeabilização, segundo Picchi (1986):

- a) Dispensa o uso de barreira de vapor, pois a própria impermeabilização impede que o vapor d'água do ambiente interno atinja o isolamento térmico;
- b) Possibilita o uso da impermeabilização em sistema aderente, facilitando a localização de uma eventual falha na impermeabilização;
- c) Protege a impermeabilização termicamente, o que contribui sensivelmente para o aumento da sua durabilidade.

2.2.5.5 Protecção mecânica

Segundo a NBR 9575/2003 a protecção mecânica é a camada com a função de absorver e dissipar os esforços estáticos ou dinâmicos atuantes sobre a camada impermeável, de modo a protegê-la contra a ação deletéria destes esforços.

Deve-se evitar que a camada protetora fique em contacto directo com o impermeabilizante, pode-se usar uma camada de papel kraft ou filme polietileno.

Segundo Cruz (2003 apud Righi 2009), pode ser dividida em quatro tipos:

a) Sistemas de impermeabilização que dispensam a protecção mecânica: são os que possuem acabamento superficial incorporado na fabricação (mantas asfálticas com acabamentos granulares ou aluminizados). Em qualquer uma das situações, deve possuir características técnicas para retardar o envelhecimento da impermeabilização pela ação das intempéries, agentes poluentes e deve ser resistente a raios ultravioletas;

b) Protecção mecânica intermediária: devem servir de camada de distribuição de esforços e amortecimento das cargas na impermeabilização, provenientes das proteções finais ou pisos. A execução deve ter, no mínimo, 1,0cm de espessura;

c) Protecção mecânica final para solicitações leves e normais: são utilizadas para distribuir sobre a impermeabilização dos carregamentos normais. Estas proteções mecânicas devem ser dimensionadas de acordo com as solicitações e possuir resistência mecânica compatível com os carregamentos previstos. A protecção mecânica final deve ter espessura mínima de 3,0cm;

d) Protecção em superfície vertical: protege a impermeabilização do impacto, intemperismo e abrasão, atuando como camada intermediária quando forem previstos, sobre elas, revestimentos de acabamento. Nas impermeabilizações flexíveis, as camadas de protecção devem sempre ser armadas com telas de metálicas fixadas no mínimo, 5cm acima da cota da impermeabilização. A armadura deve ser fixada mecanicamente à parede, sem comprometimento da estanqueidade do sistema.

2.2.6 Durabilidade da impermeabilização

A durabilidade da impermeabilização está relacionada, e é confundido com o termo “vida útil”, sendo encontradas diversas definições. De acordo com Cruz (2003) são:

a) Durabilidade: capacidade de um produto manter suas propriedades ao longo do tempo em condições normais de uso;

b) Vida útil: é o período durante o qual as propriedades de um produto permanecem acima dos limites mínimos admissíveis, quando submetido aos serviços normais de manutenção.

Na maioria dos casos, a falha na impermeabilização acontece por problemas de projeto e/ou execução, e não pela deterioração dos materiais. Ao estudar a sua durabilidade é importante diferenciar dois aspectos:

a) Durabilidade dos materiais: este aspecto abrange o estudo da variação das propriedades dos impermeabilizantes ao longo do tempo, em relação da ação de diferentes agentes de deterioração. A durabilidade do material pode ser avaliada através de métodos de ensaios apropriados;

b) Falhas de impermeabilização: este aspecto envolve o estudo das diversas formas de manifestações das falhas, suas causas e possíveis formas de evitadas e recuperá-las.

No que se refere à durabilidade das impermeabilizações, Roller (1988 apud Cruz 2003) nota-se que na maioria das propriedades das impermeabilizações encontra-se uma camada de protecção que, caso a caso, permite uma adequação entre as características da camada impermeável, o intemperismo e as condições de utilização prevista da cobertura.

2.2.7 Sistemas de Impermeabilização

Sistemas de impermeabilização é um conjunto de produtos e serviços dispostos em camadas ordenadas, destinado a conferir estanqueidade a uma construção.

Segundo Bornschein (2010), quando é necessário impermeabilizar a cobertura, é necessário certificar se o material especificado é o mais adequado para a edificação. Lajes menores e mais, por exemplo, pedem impermeabilizantes diferentes daqueles usados em lajes amplas.

Para Tamaki (2010), em lajes menores costuma-se utilizar as manta e membranas asfáltica e resinas acrílicas.

Quando se trata de lajes maiores, além da praticidade, a produtividade é importante. Por isso, a manta asfáltica é o material mais empregado.

2.2.8. Manta termoplástica de poliolefina - TPO

Membrana poliolefina termoplástica é baseada em polímeros definidos pela ASTM D 5538. Um elastômero termoplástico é uma família diversificada de materiais de borracha, como

que, ao contrário de borrachas termo-fixas convencionais, podem ser reprocessadas e recicladas como materiais termoplásticos. Poliolefinas termoplásticas estão na família do elastómero termoplástico e são comumente referidos como TPO na indústria de impermeabilização de coberturas.

Segundo Ferreira (2014), a manta termoplástica de poliolefina (TPO) é uma membrana flexível indicada principalmente para impermeabilização de coberturas de prédios comerciais, fábricas, shoppings, galpões, entre outros. É fabricada em duas camadas, por extrusão, com reforço de malha de poliéster entre as camadas, e tem grande resistência a rasgos, perfurações, bactérias, raios solares e ações climáticas. As maiores vantagens são a alta produtividade e a agilidade na execução, sendo possível instalar de oito a 12 rolos por dia. Além disso, a tecnologia pode dispensar a execução de camada de regularização e pode ser aplicada directamente sobre o material da cobertura. Por se tratar de um material relativamente novo em Moçambique, a manta TPO ainda não possui uma norma que regulamenta seu uso. Empresas que utilizam esse material, utilizam como referência publicações da ASTM (American Society for Testing and Materials).

2.2.8.1. TPO Composição

Segundo o artigo publicado na Chemical Engineering Journal (2018), a membrana de cobertura TPO é tipicamente baseada em polipropileno e EP (etileno-propileno) de borracha polimerizada em conjunto, utilizando a tecnologia de fabricação do polímero *state-of-the-art*. Esta tecnologia permite a produção de membranas de TPO que são flexíveis a temperaturas baixas, sem o uso de plastificantes poliméricos ou líquidos. Ao contrário de algumas outras membranas de termoplásticos conhecidos, o polímero de TPO não contém cloro durante a

produção da folha. A resina TPO é combinada com outros componentes, incluindo um pacote de intempérie, retardadores de fogo e pigmentos de cor para criar um produto que pode suportar os elementos associados com a exposição na cobertura. A combinação de tecido e TPO fornece membranas reforçadas com rotura elevada e força de rasgo e resistência à perfuração.

2.2.8.2. A Soldabilidade

Um dos principais benefícios da membrana TPO é a capacidade de fundir as folhas umas às outras com uma soldadura de ar quente. O processo de soldadura resulta numa ligação que é na verdade mais forte do que a própria folha. Detalhes que piscam como saídas de ar, tubulações e cantos paraqueto também são concluídas com soldaduras de ar quente e material de piscar (tipicamente não reforçado). Quando devidamente composta, a membrana TPO tem uma ampla janela de soldabilidade, permitindo que o aplicador de coberturas para completar soldaduras de ar quente de forma consistente em uma ampla gama de temperaturas. Uma vez que a integridade da solda é crítica para o desempenho do sistema de cobertura, é imperativo que a soldadura da membrana se adeque para uma ampla gama de temperaturas ambiente (OLIVEIRA, 2015). O TPO é um material termoplástico e não "gruda" no telhado, uma vez instalado. Isso permite que a folha a ser reparada com a preparação da superfície após a exposição no piso superior.

2.2.8.3. Propriedades físicas

A membrana TPO (Poliolifina Termoplástica) é um material amplamente utilizado na impermeabilização de coberturas devido às suas diversas propriedades físicas favoráveis. Essas propriedades contribuem para sua eficácia na protecção das estruturas contra a penetração de

água e outros elementos, além de proporcionar durabilidade e resistência. Algumas das propriedades físicas mais significativas da membrana TPO são:

Flexibilidade: Uma das características mais notáveis da membrana TPO é sua excepcional flexibilidade. Essa flexibilidade permite que a membrana se adapte facilmente a diferentes formas e contornos de superfícies, garantindo uma vedação eficaz mesmo em áreas com curvas ou detalhes arquitetônicos complexos. Essa capacidade de conformação é particularmente vantajosa durante a instalação, pois facilita o manuseio e a aplicação em diversas situações (Chemical Engineering Journal, 2018).

Resistência à Tração: A membrana TPO possui alta resistência à tração, o que significa que pode suportar grandes tensões sem se romper. Essa propriedade é essencial para garantir a integridade estrutural da cobertura, especialmente em áreas sujeitas a movimentos ou cargas mecânicas. A resistência à tração da TPO também contribui para sua durabilidade, pois permite que ela permaneça intacta mesmo sob condições adversas, como ventos fortes ou variações de temperatura (Journal of Building Materials, 2020).

Resistência aos Raios UV: A exposição prolongada aos raios ultravioleta (UV) pode causar degradação em muitos materiais de construção, mas a membrana TPO é formulada para resistir a esse tipo de dano. Sua composição química e aditivos especiais proporcionam uma excelente resistência aos efeitos nocivos dos raios UV, garantindo uma vida útil prolongada e preservando suas propriedades físicas ao longo do tempo. Isso faz da TPO uma escolha ideal para coberturas expostas ao sol e ao clima (Journal of Building Materials, 2020).

Estabilidade Dimensional: Outra característica importante da membrana TPO é sua estabilidade dimensional. Isso significa que ela mantém suas dimensões e forma original mesmo quando exposta a variações de temperatura, humidade e outras condições ambientais. A estabilidade dimensional da TPO é fundamental para evitar o enrugamento, o encolhimento ou a expansão excessiva da membrana, o que poderia comprometer sua eficácia como barreira à água e prejudicar sua estética.

Impermeabilidade: A principal função da membrana TPO é fornecer uma barreira impermeável que proteja a estrutura subjacente contra a infiltração de água. Sua composição química e estrutura molecular conferem excelentes propriedades de impermeabilização, impedindo a passagem de água mesmo sob pressão ou em condições de chuva intensa. Essa capacidade de vedação eficaz ajuda a prevenir vazamentos e danos relacionados à humidade, garantindo a durabilidade e a integridade da cobertura ao longo do tempo (Chemical Engineering Journal, 2018).

Reciclabilidade: A membrana TPO, reforçada e não reforçada, é reciclável a 100 por cento durante o processo de produção. Durante a produção, em caso de necessidade, a membrana pode ser moída em "retrabalho", e este material reciclado pode ser incorporada na camada inferior durante o processo de extrusão para produzir novo produto TPO.

Refletividade: Outra característica importante da membrana TPO é o seu elevado grau de refletividade. Devido a isso, as membranas TPO brancas podem satisfazer e até exceder substancialmente os níveis de desempenho de Protecção Ambiental. Membranas Brancas TPO

tipicamente exibem avaliações de refletividade na gama alta de 80 por cento quando novos (especificações ENERGY STAR requerem percentual mínimo de 65) e na gama baixa de 80 por cento após a exposição na cobertura de três anos com a limpeza (especificações ENERGY STAR requerem percentual mínimo de 50). Membranas de TPO são altamente resistentes ao crescimento de algas e molde, o que pode degradar a refletividade total do telhado e reduzir a economia de energia prevista (Sustainable Building Science, 2021).

2.2.9. Teste de Estanqueidade

Segundo a norma NBR 9575, estanqueidade é propriedade de um elemento (ou de um conjunto de componentes) de impedir a penetração ou passagem de fluidos através de si. A sua determinação está associada a uma pressão-limite de utilização (a que se relaciona com as condições de exposição do elemento ao fluido (Este ensaio é para a verificação da estanqueidade na impermeabilização, para comprovação de seu limite de resistência à estanqueidade, assim como de emendas executadas tanto no sentido transversal quanto no longitudinal. Assim sendo, depois de executada a impermeabilização, deve-se comprovar a estanqueidade do sistema. Para isso, vedar os ralos e deixar uma lâmina de água com cerca de 5 cm de altura, no mínimo, por 72 horas e verificar se houve vazamento neste período de tempo.

2.2.10. Vantagens da membrana TPO

- **Flexibilidade:** A membrana TPO é altamente flexível, o que facilita sua aplicação em uma variedade de superfícies e formas, incluindo coberturas planas, inclinadas e curvas. Sua capacidade de conformação permite uma instalação mais fácil e eficiente, reduzindo os custos de mão-de-obra e o tempo de conclusão do projecto.

- **Resistência aos Raios UV:** Uma das principais vantagens da membrana TPO é sua excelente resistência aos raios ultravioleta (UV). Isso significa que a membrana é altamente durável quando exposta à luz solar directa, mantendo suas propriedades físicas e estéticas ao longo do tempo. Essa resistência UV é essencial para garantir a longevidade da cobertura e minimizar a necessidade de manutenção.
- **Custo-efectividade:** A membrana TPO é geralmente mais económica do que algumas opções de impermeabilização concorrentes, como membranas de PVC (policloreto de vinila) ou sistemas de membranas asfálticas. Seu custo mais baixo por metro quadrado torna a TPO uma escolha atraente para projectos comerciais e residenciais com orçamentos limitados.
- **Sustentabilidade:** Algumas membranas TPO são fabricadas com materiais reciclados e são recicláveis ao final de sua vida útil. Isso as torna uma opção mais sustentável em comparação com algumas alternativas, ajudando a reduzir o impacto ambiental da construção e a promover práticas de construção mais ecológicas.
- **Baixa Manutenção:** Devido à sua resistência aos elementos e à degradação causada pelos raios UV, a membrana TPO requer pouca manutenção ao longo de sua vida útil. Isso significa menos custos e inconvenientes associados à limpeza e reparos frequentes, resultando em economia a longo prazo para os proprietários de edifícios.

2.2.11. Desvantagens da membrana TPO

- **Sensibilidade a Solventes:** A membrana TPO pode ser sensível a certos solventes, incluindo alguns produtos químicos de limpeza e materiais de construção. O contacto com esses solventes pode causar danos à membrana, comprometendo sua integridade e

eficácia como barreira à água. Portanto, é importante tomar precauções ao lidar com produtos químicos próximos à membrana TPO.

- **Vida Útil Relativamente Curta:** Embora a membrana TPO seja durável e resistente aos elementos, sua vida útil pode ser mais curta do que algumas opções de impermeabilização, como membranas de PVC ou sistemas de membranas asfálticas. A exposição prolongada aos raios UV e outros factores ambientais pode levar à degradação ao longo do tempo, exigindo eventual substituição da membrana.
- **Limitações de Cor e Estilo:** As opções de cores e estilos disponíveis para membranas TPO podem ser mais limitadas em comparação com outras opções de impermeabilização, como membranas de PVC. Isso pode restringir a capacidade dos proprietários de edifícios de personalizar a aparência estética de suas coberturas, especialmente em projetos que requerem cores específicas ou designs personalizados.
- **Qualidade Variável:** A qualidade e o desempenho das membranas TPO podem variar entre os fabricantes e fornecedores. Nem todas as membranas TPO são fabricadas com os mesmos padrões de qualidade, o que pode resultar em diferenças na durabilidade, resistência e outras propriedades físicas. Portanto, é importante selecionar um fabricante confiável e de boa reputação ao escolher uma membrana TPO para um projecto de impermeabilização.

2.3. Fundamentação Teórica

A impermeabilização de coberturas é um componente essencial na construção civil, pois protege os edifícios contra a infiltração de água e a degradação estrutural. Dentre os diversos materiais utilizados para essa finalidade, a membrana TPO (Polioléfina Termoplástica) tem

ganhado destaque devido às suas propriedades superiores de durabilidade, flexibilidade e resistência a intempéries. Nesta secção, aborda-se teorias e conceitos fundamentais relacionados à impermeabilização de coberturas, com ênfase na utilização da membrana TPO, baseando-nos em contribuições de diversos autores.

2.3.1. Conceito de Impermeabilização de Coberturas

A impermeabilização de coberturas consiste na aplicação de materiais específicos para impedir a penetração de água em estruturas de edifícios. De acordo com Teodoro e Santos (2015), a impermeabilização é um processo essencial para garantir a durabilidade e a integridade das construções, protegendo contra infiltrações que podem causar danos estruturais e comprometer a segurança e o conforto dos ocupantes.

2.3.2. Teorias Relacionadas à Impermeabilização e Uso da Membrana TPO

A utilização da membrana TPO na impermeabilização de coberturas é fundamentada em diversas teorias que explicam sua eficiência e vantagens em relação a outros materiais. Essas teorias abrangem desde a durabilidade dos materiais de construção até a sustentabilidade e eficiência energética.

2.3.2.1. Teoria da durabilidade dos materiais de construção

A teoria da durabilidade dos materiais de construção aborda a capacidade dos materiais de manterem suas propriedades e desempenho ao longo do tempo, mesmo quando expostos a condições adversas. Segundo Silva (2017), a durabilidade é influenciada por factores intrínsecos,

como a composição química e física dos materiais, e por factores extrínsecos, como as condições ambientais e a manutenção.

Aplicação na Membrana TPO:

- **Composição Química:** A membrana TPO é composta por uma mistura de polipropileno (PP) e etileno-propileno (EP), que conferem alta resistência a intempéries e a agentes químicos. A incorporação de antioxidantes e estabilizadores UV protege a membrana contra a degradação por radiação ultravioleta e oxidação (Chemical Engineering Journal, 2018).
- **Reforços:** A adição de malhas de poliéster ou fibra de vidro aumenta a resistência à tração e a estabilidade dimensional, permitindo que a membrana mantenha sua integridade mesmo sob condições de stress mecânico (Journal of Building Materials, 2020).

2.3.2.2 Teoria da Sustentabilidade na Construção

A sustentabilidade na construção envolve a utilização de materiais e métodos que minimizem o impacto ambiental e promovam a eficiência energética. Ferreira e Almeida (2019) destacam que a escolha de materiais sustentáveis deve considerar todo o ciclo de vida do produto, desde a produção até a disposição final.

Aplicação na Membrana TPO:

- **Reciclabilidade:** Segundo a revista Sustainable Building Science (2021), a membrana TPO é reciclável, o que reduz o impacto ambiental ao fim de sua vida útil. Sua produção também não utiliza cloro, evitando a emissão de compostos nocivos.
- **Eficiência Energética:** Segundo a revista Construction and Building Materials Journal (2019), a alta refletividade solar das membranas TPO brancas contribui para a redução do efeito de ilha de calor urbano e diminui a demanda por ar condicionado, resultando em economia de energia.

2.3.2.3 Teoria da Estanqueidade

A estanqueidade refere-se à capacidade de um material de impedir a passagem de líquidos, essencial para a impermeabilização de coberturas. Teodoro e Santos (2015) afirmam que a eficácia da impermeabilização depende da capacidade do material de criar uma barreira contínua e durável contra a água.

Aplicação da Membrana TPO:

- **Soldagem a Quente:** Segundo a revista Journal of Building Materials (2020), a técnica de soldagem a ar quente utilizada na instalação da membrana TPO garante juntas soldadas contínuas e estanques, evitando infiltrações.
- **Resistência a Intempéries:** Segundo a revista Chemical Engineering Journal (2018), a membrana TPO mantém suas propriedades de impermeabilidade mesmo sob exposição prolongada a condições climáticas extremas, como calor intenso e frio rigoroso.

2.3.2.4 Teoria da Flexibilidade e Adaptação a Movimentos

A flexibilidade é uma característica importante para materiais de impermeabilização, permitindo que se adaptem a movimentos e deformações da estrutura sem perder sua eficácia. Oliveira (2016) destaca que materiais flexíveis são essenciais para coberturas sujeitas a dilatação térmica e outros movimentos.

Aplicação na Membrana TPO:

- **Flexibilidade em Baixas Temperaturas:** Segundo a revista *Construction and Building Materials Journal* (2019), a TPO permanece flexível mesmo em temperaturas baixas, facilitando a instalação e a adaptação a movimentos estruturais sem rachaduras ou falhas.
- **Adaptabilidade:** Segundo a revista *Chemical Engineering Journal* (2018), a membrana TPO pode ser facilmente moldada e cortada para se ajustar a diferentes formas e tamanhos de cobertura, incluindo áreas complexas como cantos e bordas.

2.4. Marco Referencial

Neste subcapítulo, serão apresentados de forma sucinta os resultados de pesquisas realizadas por outros autores em estudos internacionais, regionais e nacionais, relacionados ao uso da membrana TPO como impermeabilizante em coberturas de aeroportos.

2.4.1. Estudos Internacionais:

- 1. "Performance of TPO membranes in airport roofing systems" (Performance das membranas TPO em sistemas de coberturas de aeroportos) - Artigo por Abdul-Aziz; Karbouli, e Hanna (2019).**

Este estudo avaliou a performance de membranas TPO em sistemas de coberturas de aeroportos. Os resultados indicaram que as membranas TPO apresentam boa resistência a intempéries e durabilidade, tornando-as uma escolha eficiente para coberturas de aeroportos.

- 2. "Evaluation of TPO membranes for airport roofing applications" (Avaliação de membranas TPO para aplicações em coberturas de aeroportos) - Artigo por Mastro; Keels, e Branscomb (2021).**

Esta pesquisa analisou a eficiência das membranas TPO em aplicações de coberturas de aeroportos. Os resultados mostraram que as membranas TPO apresentam excelente resistência a intempéries, baixo custo de manutenção e longa vida útil, tornando-as uma opção vantajosa para esse tipo de aplicação.

- 3. "Field performance of TPO roofing membranes in various climates" (Desempenho de campo de membranas TPO em coberturas em vários climas) - Artigo por Golparvar-Fard e Griffin (2020).**

Este estudo investigou o desempenho de membranas TPO em coberturas em diferentes climas. Os resultados mostraram que as membranas TPO apresentam excelente resistência à exposição prolongada a uma variedade de condições climáticas, incluindo alta exposição solar, baixas temperaturas e humidade.

4. "Evaluation of TPO membrane performance for airport roof applications"

(Avaliação do desempenho da membrana TPO para aplicações em coberturas de aeroportos) - Relatório técnico por Krock (2018).

Neste estudo, foi realizada uma avaliação abrangente do desempenho das membranas TPO em aplicações de coberturas de aeroportos. Os resultados indicaram que as membranas TPO são altamente resistentes à degradação causada pela exposição a intempéries e oferecem uma excelente proteção contra vazamentos e danos estruturais.

5. "Estudo comparativo de diferentes tipos de membranas impermeabilizantes em coberturas de aeroportos no México" - Artigo por Martínez e Hernández (2022).

Neste estudo, foi realizado um estudo comparativo entre diferentes tipos de membranas impermeabilizantes em coberturas de aeroportos no México, incluindo membranas TPO. Os resultados indicaram que as membranas TPO apresentaram o melhor desempenho em termos de durabilidade, resistência e custo-benefício.

2.4.2. Estudos Regionais e Nacionais:

A nível Regional e Nacional, não foram conseguidos dados ou estudos sobre o uso deste tipo de membrana.

Os estudos internacionais apresentam evidências consistentes sobre a eficiência, durabilidade e resistência das membranas TPO em coberturas de aeroportos. Os resultados dessas pesquisas indicam que as membranas TPO são uma escolha eficaz e económica para a impermeabilização de coberturas em aeroportos, proporcionando proteção contra vazamentos, danos estruturais e degradação causada por condições climáticas adversas.

Como autor desta pesquisa, considero esses estudos fundamentais para embasar a análise da eficiência do uso da membrana TPO em coberturas de aeroportos em Moçambique. Os resultados dessas pesquisas fornecem uma base sólida para avaliar a adequação e eficácia das membranas TPO nas condições específicas dos aeroportos moçambicanos, contribuindo assim para o avanço do conhecimento nessa área e para a melhoria da infraestrutura aeroportuária no nosso país.

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

Segundo Lundin (2016) a metodologia é o estudo de caminhos a serem percorridos para se realizar uma pesquisa, o caminho que o pesquisador percorre em busca da compreensão da realidade de um facto ou fenómeno. Por outro lado, Gil (2008:8) define método como o “caminho para se chegar a determinado fim”. Nesta perspectiva, para a realização deste projecto utilizou-se vários métodos e técnicas de pesquisas.

3.1. Tipo de estudo e desenho da pesquisa

3.1.1. Tipo de estudo

Quanto ao tipo, esta pesquisa é aplicada, que segundo Lundin (2016: 121) “tem como propósito gerar conhecimentos para uma aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve, normalmente, assuntos e interesses específicos ou locais”. Nesta pesquisa procura-se gerar conhecimentos validos que possam ser aplicados na solução de problemas de infiltração no Aeroporto Internacional de Maputo através da aplicação da membrana TPO como impermeabilizante na cobertura.

Quanto aos objectivos esta pesquisa é explicativa. Segundo Gil (2008) a pesquisa explicativa é aquela que tem como preocupação central identificar os factores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenómenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Neste sentido, com a pesquisa explicativa foi possível identificar factores e elementos relacionados com a eficiência da membrana TPO como impermeabilizante em coberturas.

Quanto à forma de abordagem do problema esta pesquisa é qualitativa. Esta pesquisa é qualitativa porque considera a relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo

indissociável entre o mundo objectivo e a subjectividade do sujeito que não pode ser traduzido em números (ANDRADE, 2010).

3.1.2. Desenho da pesquisa

Com a finalidade de atingir os objectivos propostos, a colecta de dados para a pesquisa contemplou três fases:

A primeira fase da pesquisa visou fazer uma revisão sistemática da literatura que aborda aspectos relacionados com patologias resultantes da infiltração de água em coberturas de edifícios e sobre a impermeabilização das mesmas em geral.

Na segunda etapa foi feita uma análise documental, e examinou-se relatórios técnicos, manuais de fabricantes de membranas impermeabilizantes e outras fontes documentais relevantes como artigos presentes na internet. Esta fase teve como sustento a necessidade de entender as propriedades da membrana TPO, métodos de aplicação e resultados de estudos de caso, enriquecendo a compreensão sobre a eficácia das membranas impermeabilizantes na prevenção da infiltração de água em coberturas.

Na terceira etapa foi feito um estudo de caso, nas instalações do Aeroporto Internacional de Maputo, onde fez-se o acompanhamento da aplicação da membrana TPO na cobertura do mesmo, de forma a obter dados sobre a eficiência deste tipo de membrana por meio de verificação “in loco”. Durante esta fase, também foram feitas entrevistas rápidas aos profissionais responsáveis pela instalação, manutenção e fiscalização das coberturas nos aeroportos de Moçambique. Essas entrevistas visavam obter informações detalhadas sobre a aplicação prática da membrana TPO em vários outros projectos em que estiveram inseridos.

3.2. Técnicas e instrumentos de recolha de dados

3.2.1. Técnicas de recolha de dados

Na presente pesquisa na recolha de dados são utilizadas as técnicas bibliográfica, documental, de entrevista e de questionário. De acordo com Gil (2008) a pesquisa bibliográfica “é desenvolvida com material já elaborado constituído principalmente por livros e artigos científicos”. A escolha deste procedimento permitiu ao pesquisador entrar em contacto directo com o material bibliográfico já escrito sobre o assunto relativo às técnicas de impermeabilização de coberturas.

De acordo com Lundin (2016:147) a **técnica documental** refere-se a fontes primárias que são usadas como suporte para a pesquisa em combinação com métodos acima expostos. Trata-se de toda informação recolhida em primeira mão, em bruto, recolhida pelo pesquisador ou não, e ainda não retrabalhada. Nesta pesquisa usaram-se documentos internos e externos referentes ao projecto da cobertura do Aeroporto Internacional de Maputo.

A **entrevista** é a técnica em que o investigador se apresenta frente ao investigado e lhe formula perguntas, com o objectivo de obtenção dos dados que interessam a investigação (GIL, 2007: 117). Para Severino (2007: 124) “é a técnica de colecta de dados, informações sobre um determinado assunto, directamente solicitadas aos sujeitos pesquisados”. Esta técnica permitiu criar uma interação entre o pesquisador e os profissionais envolvidos no processo de impermeabilização da cobertura do Aeroporto Internacional de Maputo, com o objectivo de recolher dados sobre o tema em estudo.

Questionário de acordo com Marconi e Lakatos (2003: 201) é um instrumento de colecta de dados, constituído por uma série ordenada de perguntas, que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador, ou seja, esta técnica não implica o contacto verbal

entre as partes. Esta técnica foi útil na medida em que permitiu compreender a percepção e a opinião dos questionados em relação ao assunto da pesquisa.

3.2.2. Instrumentos para recolha e tratamento de dados

i. Levantamento Bibliográfico: Revisão de estudos anteriores, artigos científicos, livros, normas técnicas e outras fontes de informação relevantes sobre o tema da membrana TPO como impermeabilizante em coberturas e sobre as características específicas das coberturas de aeroportos.

ii. Estudo de Caso: Realização de um estudo de caso nos aeroportos de Moçambique para colectar dados directamente das coberturas onde a membrana TPO foi aplicada. Isso inclui informações sobre o tipo de estrutura, área coberta, condições climáticas locais, custos de instalação e manutenção, entre outros.

iii. Entrevistas: Entrevistas com profissionais responsáveis pela instalação, manutenção e fiscalização das coberturas nos aeroportos de Moçambique. Essas entrevistas permitirão obter informações detalhadas sobre a aplicação prática da membrana TPO, desafios enfrentados e percepções sobre sua eficiência.

3.3. População e Amostra

População:

A população deste estudo consiste em todas as coberturas de edifícios localizados na cidade de Maputo.

Amostra:

A amostra escolhida foi o Aeroporto Internacional de Maputo, onde pôde-se fazer um estudo de caso do estado da cobertura.

3.4. Procedimentos administrativos de recolha de dados**3.4.1. Tipo de Amostragem**

Devido à disponibilidade limitada de aeroportos em Moçambique que utilizam membrana TPO em suas coberturas, será utilizada uma amostragem por conveniência.

3.4.2. Critérios de Inclusão

- Aeroporto Internacional de Maputo, localizado em Maputo, Moçambique.
- Utilização da membrana TPO como impermeabilizante em suas coberturas.
- Disponibilidade de acesso às informações necessárias para a pesquisa.

3.4.3. Critérios de Exclusão

- Nenhum, pois o Aeroporto Internacional de Maputo é o único aeroporto em Maputo.

3.4.4. Procedimentos

- **Identificação do Aeroporto:** O Aeroporto Internacional de Maputo, localizado em Maputo, será o único aeroporto considerado nesta pesquisa devido à sua localização única na capital de Moçambique.

- **Seleccção das Coberturas Específicas:** Dentro do Aeroporto Internacional de Maputo, serão seleccionadas aleatoriamente coberturas específicas para uma análise mais detalhada.

3.4.5. Procedimentos de Recolha de Dados

1. **Levantamento de Dados Documentais:** Serão colectadas informações documentais sobre a cobertura seleccionada no Aeroporto Internacional de Maputo, incluindo projectos de construção, especificações técnicas, registos de manutenção e qualquer outra documentação relevante.
2. **Entrevistas e Questionários:** Serão realizadas entrevistas com os profissionais responsáveis pela instalação, manutenção e fiscalização das coberturas no Aeroporto Internacional de Maputo. Além disso, serão aplicados questionários estruturados para coletar informações adicionais sobre a eficiência e durabilidade da membrana TPO, bem como para identificar eventuais problemas enfrentados na aplicação e manutenção das coberturas.
3. **Inspeção Visual das Coberturas:** Será realizada uma inspeção visual das coberturas seleccionadas no Aeroporto Internacional de Maputo, com o objectivo de verificar a forma de instalação da membrana TPO.
4. **Análise de Dados:** Os dados recolhidos serão submetidos a uma análise qualitativa e quantitativa e técnicas de análise de dados, a fim de avaliar a eficiência do uso da membrana TPO como impermeabilizante nas coberturas do Aeroporto Internacional de Maputo.

CAPÍTULO IV – ANÁLISE DE DADOS

4.1. Coleta de Dados

Para garantir a representatividade e a confiabilidade dos resultados, foram adoptados métodos de coleta diversificados, abrangendo tanto aspectos qualitativos quanto quantitativos.

4.1.1 Seleção do Aeroporto

O Aeroporto Internacional de Maputo foi seleccionado para este estudo devido à sua relevância regional e ao clima subtropical que caracteriza a cidade, além da facilidade de obtenção de informações. O aeroporto possui um volume significativo de tráfego aéreo e uma infraestrutura relativamente nova onde a cobertura tinha o revestimento de uma membrana PVC.

4.1.2 Inspeções Visuais e Observações In Loco

O edifício do terminal internacional de passageiros foi concluído em 2010, e possui uma cobertura de cerca de 7260m, divididos em 15 quadrantes (15 painéis de 22x22m).

Durante a visita ao Aeroporto Internacional de Maputo, foi realizada uma inspeção visual detalhada das coberturas, com o objetivo de identificar sinais de degradação e problemas de infiltração. As observações foram feitas tanto nas áreas expostas quanto nas áreas críticas, como pontos de junção e ao redor de equipamentos instalados na cobertura.

Infiltrações: Foram identificados diversos pontos de infiltração, principalmente em áreas de emendas e ao redor de ralos de drenagem. Essas infiltrações sugerem falhas na estanqueidade da cobertura, possivelmente exacerbadas por problemas de instalação ou manutenção inadequada.

Sinais de Degradação: Além das infiltrações, foram observados sinais de descoloração, indicando uma possível degradação devido à exposição contínua ao sol e à humidade.



Figura 9 – Inspeção da Cobertura

4.1.3 Entrevistas com a Equipe de Manutenção

Durante a visita ao Aeroporto Internacional de Maputo, foram realizadas entrevistas com os gestores de manutenção para compreender o histórico das coberturas e as práticas de manutenção adoptadas.

O sector de manutenção é responsável pela garantia da vida útil das infraestruturas aeroportuárias, e o mesmo sector composto por uma equipe de alto nível de experiência relativa a gestão de actividades de manutenção.

Dentre eles; Dois (2) engenheiros de Construção Civil e transportes, dos quais, um é o engenheiro chefe do departamento, dois (2) técnicos de construção e 12 operários com especializações diferentes capacitados à canalização, pintura e operadores de trator.

- **Histórico de Manutenção:** A equipe relatou que a cobertura era submetida a inspeções regulares, mas que os problemas de infiltração começaram a ser observados a partir de 2018. Relatou ainda que devido ao desgaste da antiga membrana de impermeabilização, a água da chuva penetrava e causava danos à estrutura e de certa forma, causava desconforto aos passageiros e aos trabalhadores.

- **Acções Correctivas:** Relataram tentativas de reparo nas áreas afectadas, incluindo a aplicação de selantes nas emendas da membrana PVC, mas com resultados limitados na prevenção de novas infiltrações.

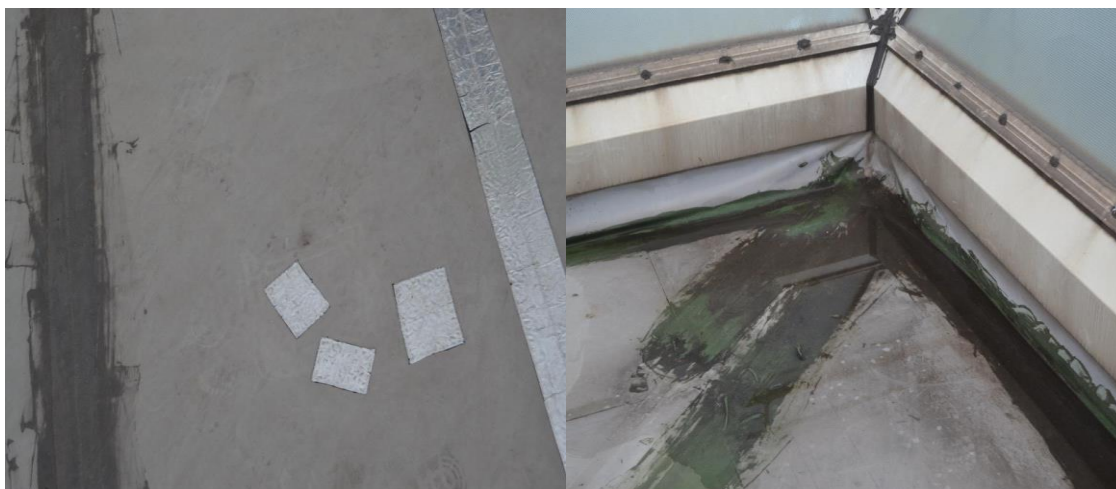


Figura 10 – Emendas na antiga membrana

4.1.4 Análise de Documentação

Foram analisados documentos fornecidos pela administração do aeroporto, incluindo relatórios de inspeção anteriores, planos de manutenção preventiva e registros de intervenções correctivas.

- **Relatórios de Inspeção:** Indicaram a presença de infiltrações em anos anteriores, sugerindo um problema recorrente na cobertura.

4.1.5. Identificação dos Problemas de Infiltração

a) **Problemas com a Membrana PVC Existente:**

- **Degradação do Material:** A membrana PVC estava degradada devido à exposição prolongada a fatores climáticos, resultando em fissuras e descolamento.

- **Desgaste em Juntas e Fixações:** As áreas ao redor das juntas e fixações eram propensas a infiltrações, exacerbadas pela deterioração do adesivo e vedantes.
- **Manutenção Inadequada:** A frequência e a qualidade da manutenção corretiva não foram suficientes para resolver problemas de infiltração persistentes.

b) Características Climáticas Locais:

- **Chuvas Intensivas:** A região enfrenta chuvas intensas e prolongadas, que exacerbam os problemas de infiltração se a impermeabilização não for adequada.
- **Temperaturas Extremas:** As variações de temperatura podem causar expansão e contração dos materiais, afetando a integridade das membranas.



Figura 11 - Estado da antiga membrana impermeabilizante

4.2. Proposta de Solução: Aplicação da Membrana TPO

A substituição da membrana PVC pela TPO é a solução proposta. A membrana TPO foi seleccionada devido às suas propriedades superiores de resistência e durabilidade.

Foi utilizada a membrana KOSTER TPO, que é uma membrada fina com espessuras de 15mm e 20mm de acordo com as especificações do projecto, importada da Alemanha com intuito de estancar a água das chuvas.

Tratando-se da tela como um recurso não muito comum no nosso país (nova para o uso em Moçambique), ela é uma nova experiência de trabalho e um grande desafio para todos os encarregados pela obra assim como os supervisores e fiscais. Desta feita, tratando de uma grande novidade, a equipe de trabalho tinha de ter uma formação dada pelos fornecedores do material para a capacitação e domínio das ferramentas a usar durante o processo de aplicação da tela.

4.2.1. Procedimentos de Instalação da Membrana TPO

1. Preparação da Superfície

- Verificação das condições da superfície da cobertura para garantir que esteja limpa, seca e livre de detritos, poeira, óleo, e outras substâncias que possam interferir na adesão da membrana.
- Identificação e reparo de quaisquer danos na estrutura da cobertura, como fissuras ou buracos, que possam comprometer a instalação da membrana TPO.

2. Posicionamento da Membrana TPO

- Desenrolamento da membrana TPO sobre a superfície preparada, alinhando-a correctamente para garantir uma cobertura uniforme.
- Corte da membrana conforme necessário para se ajustar à forma e tamanho da cobertura, incluindo áreas complexas como cantos e bordas.

3. Fixação da Membrana TPO

- Fixação Mecânica: Utilização de parafusos e arruelas especiais para fixar a membrana à superfície, garantindo que esteja firmemente presa.

- **Adesão Total:** Aplicação de um adesivo especial na superfície da cobertura antes de posicionar a membrana, garantindo uma aderência completa.
- **Sistema de Lastro:** Colocação de materiais pesados (como pedras) sobre a membrana para mantê-la no lugar, utilizado em coberturas onde a fixação mecânica não é viável.

4. Soldagem das Juntas

- **Preparação das Juntas:** Sobreposição das bordas das membranas em pelo menos 5 cm para garantir uma soldagem eficiente.
- **Soldagem a Quente:** Utilização de um equipamento de soldagem a ar quente para unir as bordas sobrepostas da membrana. O calor derrete a camada superficial do TPO, criando uma solda forte e estanque quando esfriada.
- **Inspeção das Soldas:** Verificação cuidadosa das juntas soldadas para garantir que não haja falhas ou vazamentos. Qualquer área com soldagem deficiente é reparada imediatamente.

5. Detalhamento dos Terminais e Penetrações

- Instalação de detalhes em torno de penetrações (como dutos e ventiladores), bordas e cantos utilizando acessórios específicos e técnicas de soldagem para garantir a impermeabilidade completa.
- Aplicação de selante TPO em áreas críticas e terminais para reforçar a vedação e evitar infiltrações.

6. Inspeção Final

- Inspeção final de toda a superfície da cobertura para assegurar que a membrana TPO está corretamente instalada e que todas as juntas e detalhes estão adequadamente vedados.
- Teste de Estanqueidade: Realização de testes de estanqueidade, como o teste de inundação, para garantir que a membrana está impermeável e não há vazamentos.

8. Documentação e Manutenção

- Registro da Instalação: Documentação de todo o processo de instalação, incluindo fotos, relatórios de inspeção e testes de estanqueidade, para referência futura.

4.3. Atividades desenvolvidas em obra

4.3.1. Limpeza da membrana anterior (membrana PVC) e de toda a superfície de aplicação da tela

Como sabido, a tela antiga já apresentava defeitos e obsolescência, tanto é que não podia estancar e escoar as águas das chuvas, então foi necessária uma prévia limpeza completa da área total para aplicação da nova membrana e tratamento dos perfis.

4.3.2. Tratamento anticorrosivo para os perfis metálicos que asseguram estrutura da cobertura.



Figura 12 – Corrosão dos perfis metálicos

4.3.3. Transporte e armazenamento dos rolos e as máquinas na cobertura

De forma guiada, os rolos são colocados exatamente na superfície da cobertura como forma de minimizar o exercício de transporte dos mesmos.



Figura 13 – Rolos de membrana TPO

4.3.4. Aplicação da tela e instalação do canal de água para o teste de estanquidade

Após a aplicação da tela, (Membrana de 15mm para os perfis e a zona do ralo e a membrana de 25mm para a restante área da superfície) com recurso a soldadura, é feito o teste de estanquidade com recurso a um tudo canalizado à uma rede de abastecimento de água.

O teste de estanqueidade é uma das etapas mais importantes na execução de uma impermeabilização. Descrito na ABNT NBR 9574/2008, ele acontece com a inserção de água limpa sobre a superfície recém impermeabilizada por ao menos 72 horas.



Figura 13 - Aplicação completa por cada quadrante, e começo do teste de estanqueidade

4.3.5. Atualização do mapa de avanço

A cada passo dado como progresso na obra, é actualizado para o sector de manutenção como forma de acompanhamento e consciencialização entre as duas partes contratuais, como por exemplo, o mapa de progresso.

São também feitos relatórios semanais para garantir a informação e actualização dos novos trabalhos e etapas subsequentes para manter o sector sempre informado e actualizado.

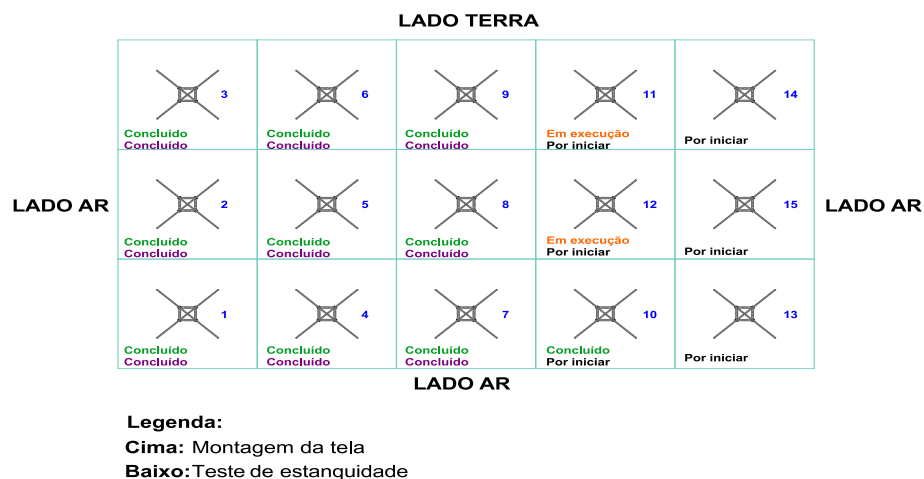


Figura 14 - Mapa de avanço das actividades

4.3.6. Estudo no canal do ralo de escoamento

Com o primeiro teste de estanqueidade, não foi possível alcançar o total êxito na impermeabilização, então é necessária a revisão das possíveis falhas que podem ter ocorrido na aplicação da tela ou, um outro possível problema, como por exemplo; vazamento na canalização de escoamento das águas das chuvas.



Figura 15 - Estruturas metálicas da cobertura

4.3.7. Segundo teste de estanquidade

Após a visita às camadas logo por de baixo nas estruturas metálicas da cobertura e o acerto das falhas detectadas e sinalizadas pela ferramenta penetrante, é feito o segundo teste de estanquidade.



Figura 16 - Realização do teste de estanquidade

4.3.8. Aprovação dos resultados

São cumpridas e esperadas as 72h como tempo regulamentado e foi alcançada a estanquidade na impermeabilização com sucesso.

4.3.9. Abertura do ralo para o escoamento da água e a remoção dos instrumentos de trabalho

Após o apuramento da estanquidade, foram abertos os ralos em todos os painéis para o escoamento das águas e logo de seguida a limpeza da área e remoção de todo material que se encontrava na cobertura.

CAPÍTULO V – DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo apresenta a discussão dos resultados obtidos na análise da eficiência da membrana TPO (Poliiolefina Termoplástica) como impermeabilizante em coberturas, com base no acompanhamento da sua instalação e desempenho no edifício do Aeroporto Internacional de Maputo. A avaliação abrange aspectos de instalação, desempenho em diferentes condições climáticas, durabilidade, manutenção, impacto ambiental e custo-benefício.

5.1. Qualidade da Instalação

A qualidade da instalação é um factor crítico para a eficácia de qualquer sistema de impermeabilização. Durante o acompanhamento da instalação da membrana TPO no Aeroporto Internacional de Maputo, foram observados vários aspectos que contribuíram para um processo bem-sucedido:

1. **Preparação da Superfície:** A superfície da cobertura foi meticulosamente preparada antes da aplicação da membrana. Isso incluiu a limpeza e a eliminação de detritos, a correção de irregularidades;
2. **Técnica de Soldagem:** As emendas da membrana foram soldadas utilizando equipamentos de alta precisão que garantiram a formação de junções homogêneas e sem falhas. A formação técnica dos profissionais envolveu treinamentos específicos, o que se refletiu na qualidade final do trabalho.
3. **Inspeção e Controle de Qualidade:** Durante e após a instalação, foram realizadas inspeções rigorosas para verificar a integridade das soldas e a aplicação correta da membrana. As falhas identificadas foram imediatamente corrigidas, assegurando a continuidade da impermeabilização.

5.2. Desempenho em Condições Climáticas

O Aeroporto Internacional de Maputo está sujeito a uma ampla variedade de condições climáticas, o que torna a avaliação do desempenho da membrana TPO sob essas condições particularmente relevante. Os principais pontos observados foram:

1. **Resistência à Água:** Durante períodos de chuvas intensas, a membrana TPO demonstrou excelente resistência à penetração de água. Não foram observadas infiltrações ou vazamentos, indicando uma alta eficiência do sistema impermeabilizante.
2. **Resistência aos Raios UV:** A membrana TPO possui aditivos que aumentam sua resistência aos danos causados pela radiação ultravioleta. Mesmo após exposição prolongada ao sol, a membrana não apresentou sinais de degradação significativa, como descoloração ou perda de elasticidade.
3. **Comportamento Térmico:** A membrana TPO ajudou a manter temperaturas internas mais estáveis ao refletir a radiação solar, contribuindo para um ambiente mais confortável e reduzindo a necessidade de climatização artificial.

5.3. Durabilidade e Manutenção

A durabilidade e a facilidade de manutenção são fatores importantes na escolha de materiais de impermeabilização para grandes projectos:

1. **Propriedades Físicas e Químicas:** Após um período de uso, a membrana TPO manteve suas propriedades iniciais, como flexibilidade e resistência mecânica, sem apresentar sinais de deterioração significativa. Isso sugere uma longa vida útil esperada, reduzindo a necessidade de substituições frequentes.

2. **Manutenção:** A manutenção da membrana TPO mostrou-se simples e de baixo custo. Inspeções periódicas são suficientes para garantir a continuidade da proteção. Em caso de danos localizados, como perfurações, os reparos podem ser realizados rapidamente utilizando métodos de soldagem a quente.

5.4. Impacto Ambiental

O impacto ambiental do uso da membrana TPO é outro aspecto relevante discutido neste estudo:

1. **Sustentabilidade dos Materiais:** A composição reciclável da membrana TPO e a baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) durante a fabricação e a instalação contribuem para a sustentabilidade ambiental do material.
2. **Eficiência Energética:** A capacidade da membrana de refletir a radiação solar ajuda a reduzir a carga térmica no edifício, resultando em menor consumo de energia para climatização. Isso não apenas reduz os custos operacionais, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

5.5. Custo-benefício

A análise de custo-benefício comparou a membrana TPO com outros materiais impermeabilizantes tradicionais:

- **Investimento Inicial:** Embora a membrana TPO tenha um custo inicial relativamente alto, este investimento é compensado pelos benefícios a longo prazo.
- **Benefícios a Longo Prazo:** A durabilidade, a baixa manutenção e a eficiência energética da membrana TPO resultam em economia de custos operacionais ao longo do tempo.

Além disso, a redução na frequência de reparos e substituições diminui os custos de manutenção.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusão

Este trabalho apresenta a aplicação da membrana termoplástica poliolefina em coberturas. O estudo realizado permitiu analisar a eficiência da impermeabilização utilizada em coberturas, que se mostrou satisfatório, desde que seja aplicada correctamente. O teste de estanqueidade, constatou que a aplicação da impermeabilização termoplástica poliolefina atende aos requisitos estabelecidos pelas normas vigentes. Após a realização dos ensaios nos 03 dias foram verificados que não houveram perda da lamina d'água.

O estudo da impermeabilização tem sido de grande valor para as edificações, pois é ele que vai permitir o aumento da vida útil da construção garantindo também a saúde dos usuários e a salubridade dos ambientes. Por esses motivos a protecção das estruturas contra as patologias causadas pelas infiltrações de água é factor de grande importância na construção civil.

Pretendeu-se com esse trabalho reforçar a necessidade da existência de um projeto específico para a impermeabilização visto que ele faz parte do projeto da construção civil, a fim de se evitar que as patologias aqui descritas aconteçam.

Outro ponto importante observado durante o estudo é a importância da compatibilização de todos os projetos como arquitetura, eléctrico, hidráulico estrutural e também do sistema de drenagem com o de impermeabilização, uma vez que são necessárias perfurações na cobertura para instalação de dispositivos coletores como ralos, e nestes pontos, os detalhes da impermeabilização é que vão permitir a estanqueidade da cobertura.

Vale ressaltar que realizar um projeto de impermeabilização já no início da obra reduz os custos oriundos da manutenção, gerados pelo reparo das patologias surgidas pela falta do projeto.

6.2. Recomendações

Com base nas conclusões obtidas, são apresentadas as seguintes recomendações para o Aeroporto Internacional de Maputo e para outras instalações similares:

1. **Implementação da Membrana TPO:**

- **Adopção da Membrana TPO:** Recomenda-se a utilização da membrana TPO para novas construções e para a substituição de sistemas de impermeabilização existentes em outras áreas do aeroporto ou em instalações semelhantes. A TPO oferece uma solução eficaz e de longa duração para problemas de infiltração.

2. **Plano de Manutenção Preventiva:**

- **Estabelecimento de Procedimentos de Manutenção:** Desenvolver e seguir um plano de manutenção preventiva robusto, incluindo inspeções regulares e limpeza adequada, para garantir a longevidade da membrana TPO.
- **Treinamento Contínuo:** Treinar continuamente as equipes de manutenção sobre os procedimentos específicos para o manuseio e reparo da membrana TPO.

3. **Avaliação e Monitoramento Contínuo:**

- **Monitoramento da Performance:** Continuar monitorando a performance da membrana TPO ao longo do tempo para identificar e corrigir rapidamente qualquer potencial problema.
- **Avaliação Periódica dos Custos:** Realizar avaliações periódicas dos custos associados à manutenção e ao desempenho da membrana para garantir que os benefícios econômicos e operacionais sejam mantidos.

4. **Pesquisa Futura:**

- **Estudos Adicionais:** Recomendar a realização de estudos adicionais para explorar a aplicação da membrana TPO em diferentes contextos climáticos e tipos de estruturas, além de investigar inovações tecnológicas que possam aprimorar ainda mais os sistemas de impermeabilização.
- Realização de testes termodinâmico, acústico e de durabilidade que não foram desenvolvidos neste trabalho, a fim de verificar o comportamento do material nas coberturas.

CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL-AZIZ, A. A.; KARBOULI, A.; HANNA, N., *Performance of TPO membranes in airport roofing systems, Journal of Construction Engineering and Management*, 2019.

Advancements in Thermoplastic Polyolefin (TPO) Roofing Membranes, Construction and Building Materials Journal, Volume 30, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, *ASTM D 5538-13: Standard Guide for Thermoplastic Elastomers - Terminology and Abbreviations*, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

ANDRADE, M. M, *Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação*, São Paulo, SP: Atlas, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 9575: Edificações Habitacionais — Desempenho*, Rio de Janeiro, 2003.

BORNSCHEIN, Walter Udo, *Patologias em Impermeabilização: Manual de Identificação, Diagnóstico e Recuperação*, São Paulo: Pini, 2010.

CAMPOS, Pascoal Barbosa, *Impermeabilização de lajes com uso de manta asfáltica*, Governador Valadares - MG, 2011.

CRUZ, J.H.P, *Manifestações patológicas de impermeabilizações com uso desistema não aderido de mantas asfálticas: avaliação e análise com auxílio de sistema multimídia*, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 2003.

CUNHA, A. G. e NEUMANN, Walter, *Manual de impermeabilização e isolamento térmico*, 5ª Ed., Texsa Brasileira Ltda, 1979.

FERREIRA, Romário, *Conhecendo os impermeabilizantes. Equipe de obra*, São Paulo, 2014.

FERREIRA, P., & ALMEIDA, L., *Sustentabilidade na Construção Civil*, *Revista de Engenharia Ambiental*, Volume 10, 2019.

GIL, A. C, *Como elaborar projetos de pesquisa*, 4. ed., São Paulo: Atlas, 2007.

GIL, Antônio Carlos, *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*, 6ª Edição, São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GOLPARVAR-FARD, M.; GRIFFIN, C. W., *Field performance of TPO roofing membranes in various climates*, *Journal of Building Performance*, 2020.

KLEIN, D. L., *Apostila do Curso de Patologia das Construções*, Porto Alegre, 2002.

- KROCK, R. P., *Evaluation of TPO membrane performance for airport roof applications*, Technical Report, 2018.
- LAKATOS, E. M. de A.; MARCONI, M. de A. *Fundamentos da metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 2003.
- LERSCH, I. M., *Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 2003.
- LUNDIN, I., *Metodologia de Pesquisa em Ciências Sociais*, Escolar Editora, Maputo - Moçambique, 2016.
- MARINHO, M. (2014). *Diagnóstico de patologias associadas à humidade utilizando técnicas não destrutivas (Mestrado em Engenharia Civil)*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- MARTÍNEZ, J. M., e HERNÁNDEZ, L. G., *Estudo comparativo de diferentes tipos de membranas impermeabilizantes em coberturas de aeroportos no México*, *Revista de Engenharia Civil*, 2022.
- MASTRO, M. J.; KEELS, M.; BRANSCOMB, A. F., *Evaluation of TPO membranes for airport roofing applications*, *International Journal of Roofing Science*, v. 22, 2021.

OLIVEIRA, T. V. M., *Avaliação das causas e consequências das patologias dos sistemas impermeabilizantes – Um estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2015.*

OLIVEIRA, R., *Materiais de Impermeabilização em Edificações, Arquitetura e Construção, Volume 18, 2016.*

Performance of TPO Roofing Membranes: Durability and Weather Resistance, Journal of Building Materials, Volume 15, 2020.

PICCHI, Flávio Augusto, *Impermeabilização de coberturas, São Paulo: Pini, 1986.*

POZZOBON, Cristina Eliza, *Notas de Aulas da disciplina de Construção Civil II, 2007.*

QUERUZ, F., *Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.*

RIGHI, G. V., *Estudos dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções – análise de casos, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.*

- ROLLER, Wolfgang, *Escolha e dimensionamento de protecções para impermeabilização de coberturas planas*, São Paulo, 1988.
- SANTOS, A. M.; et al., *Eficiência do uso de membranas TPO em coberturas de aeroportos: estudo de caso no Aeroporto Internacional de São Paulo*, Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 27, 2022.
- SEVERINO, Antônio Joaquim, *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed., São Paulo: Cortez, 2007.
- SIKA, *Soluções De Impermeabilização No Contexto Da Reabilitação (Sika Portugal, S.A.)*, 2017. Consultado em 25 de maio de 2024. Disponível em https://www.apcmc.pt/wp-content/uploads/2017_11_23-Solucoes-de-Impermeabilizacao-Sika-no-Contexto-da-Reabilitacao.pdf
- SILVA, A., *Durabilidade dos Materiais de Construção*, Revista Brasileira de Engenharia, Volume 15, 2017.
- SILVA, J. A.; SOUZA, P. R., *Estudo da eficiência da membrana TPO em coberturas submetidas a climas tropicais*, Revista de Engenharia Civil, v. 25, 2023.
- SOARES, F. F., *A importância do projeto de impermeabilização em obras de construção civil. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 2014.

SOUZA, F. M., *Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2008.*

TAMAKI, L., *No popular - Técnica*, São Paulo, 2010.

TEODORO, J., & Santos, M., *Impermeabilização de Coberturas: Princípios e Práticas*, Revista de Engenharia Civil, Volume 22, 2015, pp. 89-102.

Thermoplastic Polyolefin (TPO) Roofing Membranes, *Chemical Engineering Journal*, Volume 24, 2018.

Thermoplastic Polyolefin (TPO) for Sustainable Roofing Solutions, *Sustainable Building Science*, Volume 10, 2021.

VEDACIT, *Manual técnico: impermeabilização de estruturas*, 6. ed., São Paulo, 2010.

VERÇOZA, Ênio Jose, *Impermeabilização na construção*, Porto Alegre: Sagra, 1987.

VERÇOZA, E. J., *Patologia das Edificações*, Porto Alegre, Editora Sagra, 1991.

YAZIGI, W. A., *Técnica de edificar*, São Paulo: Pini, SIDUSCON-SP, 1998.