

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**ANÁLISE DOS FATORES FÍSICO-QUÍMICOS QUE  
INFLUENCIAM A DURABILIDADE DA RESINA EPÓXI  
COMO REVESTIMENTO DE PISO RESIDENCIAL**

**QUÉZIA FREIRIA MIESSA**

**SÃO CARLOS -SP**  
**2021**

# **ANÁLISE DOS FATORES FÍSICO-QUÍMICOS QUE INFLUENCIAM A DURABILIDADE DA RESINA EPÓXI COMO REVESTIMENTO DE PISO RESIDENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Marini

São Carlos-SP  
2021



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

**NOME:** Quezia Freiria Miessa

**RA:** 627780

**TÍTULO:** Análise dos fatores físico-químicos que influenciam a durabilidade da resina epóxi como revestimento de piso residencial

**ORIENTADOR(A):** Prof. Dr. Juliano Marini

**CO-ORIENTADOR(A):**

**DATA/HORÁRIO:** 18/11/2021, 11h

### BANCA – NOTAS:

	Monografia	Defesa
Prof. Dr. Juliano Marini	6,0	6,0
Profa. Dra. Lidiane Cristina Costa	6,0	6,0
<b>Média</b>	6,0	6,0

Certifico que a defesa de monografia de TCC realizou-se com a participação a distância dos membros Prof. Dr. Juliano Marini e Profa. Dra. Lidiane Cristina Costa e depois das arguições e deliberações realizadas, os participantes à distância estão de acordo com as informações redigidas nesta ata de defesa.

Prof. Dr. Juliano Marini

## RESUMO

O revestimento de piso realizado com resina epóxi, popularmente conhecido como porcelanato líquido, é uma alternativa não convencional de revestimento de uso residencial que por ser uma técnica relativamente nova e incomum, apresenta poucas informações técnicas e científicas dissipadas no setor de construção civil. Esse tipo de revestimento requer conhecimento não apenas da parte técnica como o processo de aplicação, mas também das propriedades, características e estrutura da resina polimérica, que pode influenciar diretamente a durabilidade e qualidade desse acabamento. Nesse trabalho foi realizada uma análise técnica e científica dos principais fatores físico-químicos da resina epóxi e outros fatores intrínsecos que influenciam na durabilidade e no surgimento de anomalias no porcelanato líquido. Foi realizado também o levantamento das principais anomalias e suas possíveis causas, além dos requisitos mínimos que o revestimento deve cumprir para obter uma boa durabilidade. Como conclusão do estudo, obteve-se tanto fatores técnicos como processo de aplicação, condições de serviço, adequabilidade ao uso e mão de obra especializada; quanto fatores científicos da resina epóxi como escolha e formulação da resina e do endurecedor, fatores de influência no processo de cura, temperatura e viscosidade do material. Todos esses fatores apresentaram influências nas propriedades finais do acabamento, que podem ou não favorecer o surgimento de anomalias prematuras e conseqüentemente, diminuir a qualidade e durabilidade geral do porcelanato líquido.

**Palavras-chave:** Resina epóxi. Porcelanato líquido. Revestimento de alto desempenho. Revestimento de piso polimérico. Durabilidade.

## ABSTRACT

The floor coating made with epoxy resin, popularly known as liquid porcelain, is an unconventional alternative for coating for residential use which, being a relatively new and uncommon technique, presents poor technical and scientific information dissipated in the civil construction sector. This type of coating requires knowledge not only of the technical part such as the application process, but also of the properties, characteristics, and structure of the polymeric resin, which can directly influence the durability and quality of this finish. In this work, a technical and scientific analysis of the main physicochemical factors of the epoxy resin and other intrinsic factors that influence the durability and the appearance of anomalies in the liquid porcelain was carried out. The main anomalies and their possible causes were also surveyed, in addition to the minimum requirements that the coating must meet to obtain good durability. As a conclusion of the study, technical factors such as application process, service conditions, suitability for use and specialized labor were obtained; and scientific factors of epoxy resin such as choice and formulation of resin and hardener, factors influencing the curing process, temperature and viscosity. All these factors influenced the final properties of the finish, which may or not favor the appearance of premature anomalies and, consequently, reduce the overall quality and durability of the liquid porcelain.

**Keyword:** Epoxy resin. Liquid porcelain. High performance coating. Polymeric floor coating. Durability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de acabamentos de porcelanatos líquidos, a) acabamento uniforme b) desenho de efeito abstrato, c) efeito metalizado e d) acabamento de cor azul sólida.	5
Figura 2 - Corte esquemático da aplicação do monolítico espatulado.	7
Figura 3 - Corte esquemático da aplicação do monolítico autonivelante.	7
Figura 4 - Corte esquemático da aplicação do monolítico de múltiplas camadas.	8
Figura 5 – a) Grupo funcional epóxi. b) Estrutura química do diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA).	10
Figura 6 - Diagrama de transformação isotérmica de tempo e temperatura (TTT) simplificado.	13
Figura 7 - Preenchimento de trincos com a base niveladora para preparação do substrato.	16
Figura 8 - Aplicação do porcelanato líquido no contrapiso, a) com auxílio do rodo dentado e b) manualmente utilizando uma espátula.	16
Figura 9 - Revestimento em resina epóxi com presença de bolhas.	21
Figura 10 - Resina epóxi com presença de manchas e opacidade.	22
Figura 11 - Porcelanato líquido com desacoplamento da camada de resina epóxi.	23
Figura 12 - Resina epóxi com presença de superfície pegajosa.	24
Figura 13 - Porcelanato líquido com desgaste e riscos.	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos revestimentos de alto desempenho de classe monolítica.	6
Tabela 2 - Principais vantagens e desvantagens do porcelanato líquido.	9
Tabela 3 - Requisitos de desempenho mínimo por produto.	27
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens da incorporação de cargas de preenchimento.	29

## LISTA DE SÍMBOLOS

DGEBA – Diglicidil Éter de Bisfenol A  
NBR – Norma Técnica Brasileira  
RAD – Revestimento de Alto Desempenho  
UV – Ultravioleta  
T<sub>g</sub> – Temperatura de Transição Vítrea  
T<sub>c</sub> – Temperatura de Cura  
TTT – Transformação Tempo e Temperatura  
°C – Graus Celsius  
cPs – Centipoise  
MPa – Megapascal  
mm – Milímetro  
DSC – Calorimetria Exploratório Diferencial

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2	OBJETIVOS	2
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>2</b>
1.3	JUSTIFICATIVA	2
1.4	METODOLOGIA	2
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>3</b>
2.1	REVESTIMENTO RESIDENCIAL	3
2.2	PORCELANATO LÍQUIDO	4
<b>2.2.1</b>	<b>Classificação do Revestimento</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Vantagens e Desvantagens</b>	<b>8</b>
2.3	RESINA EPÓXI	9
<b>2.3.1</b>	<b>Estrutura</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Processo de Cura</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Agentes de Modificação</b>	<b>14</b>
2.4	APLICAÇÃO DO PORCELANATO LÍQUIDO	15
<b>2.4.1</b>	<b>Processo de Aplicação</b>	<b>15</b>
2.5	MANUTENÇÃO E PATOLOGIAS	17
<b>2.5.1</b>	<b>Cuidados e Precauções</b>	<b>17</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Prováveis Causas</b>	<b>18</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Principais Patologias</b>	<b>19</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Reparos</b>	<b>25</b>
2.6	DURABILIDADE	26
<b>2.6.1</b>	<b>Requisitos do Porcelanato Líquido</b>	<b>26</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Fatores Físico-Químicos da Resina Epóxi</b>	<b>27</b>
2.6.2.1	Formulação da Resina Epóxi	27
2.6.2.2	Proporção de Endurecedor e Resina	30
2.6.2.3	Condições de Cura	32
2.6.2.4	Temperatura	34
2.6.2.5	Viscosidade	35
<b>2.6.3</b>	<b>Influências do Processo de Aplicação</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>40</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos anos, com a grande expansão de setores industriais, grandes são os avanços em inovação e tecnologia que esses mercados desenvolvem. No setor da construção civil, por exemplo, é possível perceber que novas ferramentas e materiais vão surgindo no mercado, ampliando as possibilidades de produtos, preços, técnicas e tipos de acabamentos nas edificações.

Em uma construção civil, a falta de familiaridade com essas novidades e tecnologias podem trazer dificuldades e insegurança no uso de materiais e métodos não-convencionais (FILHO *et al.*, 2017). Isso pode impedir a popularização dessas novas tecnologias entre os consumidores e até mesmo colocar em escassez mão de obra especializada por falta de conhecimento técnico qualificado.

Em geral, nas construções residenciais é utilizado como revestimento de piso um material cerâmico, porém há no mercado alternativas não-convencionais para a mesma aplicação, como o uso de resina epóxi, um material polimérico. Esse revestimento polimérico, popularmente conhecido como porcelanato líquido, tem maior utilização no setor industrial, mas vem ganhando espaço no mercado como uma alternativa prática e inovadora para uso residencial (FILHO *et al.*, 2017).

Na década de 30, o uso dos revestimentos poliméricos foi fortemente recebido nos Estados Unidos para aplicação em indústrias, hospitais, restaurantes, estacionamentos, quadras poliesportivas, entre outros (ELLIS, 1993). Isso devido as vantagens de fácil aplicação, resistência à grandes solicitações de cargas, fácil higienização, resistência à ataques químicos e outras. No setor residencial, a opção desse revestimento foi atrativa devido ao custo benefício, facilidade de limpeza, e por ter um belo acabamento brilhoso e monolítico, ou seja, apresenta o efeito de um único piso, sem rejunte (SILVEIRA, 2009).

Esses revestimentos poliméricos requerem conhecimento não só da parte técnica do processo de aplicação, mas também das propriedades e características da resina polimérica utilizada. Essas informações podem proporcionar uma melhor aplicação, aumentando a durabilidade e qualidade, e retardando o surgimento de possíveis anomalias e defeitos no porcelanato líquido.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Identificar como os principais fatores físico-químicos da resina epóxi e outros fatores que influenciam na durabilidade e no surgimento de anomalias em revestimentos de piso residencial.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Conceituar os materiais e procedimentos utilizados na aplicação de resina epóxi como revestimento de piso;
- Identificar as principais anomalias que podem prejudicar a durabilidade e os requisitos mínimos de propriedades que o revestimento deve atender;
- Correlacionar as propriedades físico-químicas da resina epóxi e do processo que influenciam na durabilidade do revestimento.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A importância desse trabalho se dá pela limitada difusão de informações sobre revestimentos poliméricos residenciais, e como informações aprofundadas sobre estrutura, propriedades e características da resina polimérica podem influenciar na durabilidade e ciclo de vida desse acabamento. Dessa forma, é possível que profissionais e consumidores conheçam a opção do porcelanato líquido como uma alternativa de revestimento residencial, e como podem aprimorar o desempenho e diminuir a frequência de manutenção, reparação e surgimento de anomalias nessa aplicação.

## 1.4 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho monográfico presente foi composta de pesquisas referenciais teóricas em artigos, livros, teses, periódicos, dissertações, sites de empresas especialistas em porcelanato líquido e em Normas Técnicas Brasileiras.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 REVESTIMENTO RESIDENCIAL

Os revestimentos são acabamentos de piso e de parede, ou seja, são a camada que reveste a alvenaria da construção. A escolha do tipo de revestimento residencial pode variar dependendo do ambiente, funcionalidades, nível de exposição a luz solar e intempéries, e resultado estético esperado (MARTINS, 2012).

Há no mercado uma imensa variedade de materiais utilizados no revestimento de piso, que dependem de uma criteriosa seleção do projetista. Os materiais utilizados como revestimento de piso são divididos em 4 tipos: materiais minerais, lenhosos, têxteis e poliméricos (MARTINS, 2012).

Os materiais minerais utilizados como revestimento de piso podem ser pedras naturais, como o granito, mármore, ardósia e quartzo; ladrilhos cerâmicos e hidráulicos; argamassas autonivelantes ou tradicionais; revestimento de mármore compactados e até mesmo vidros (MARTINS, 2012). As pedras naturais possuem estilo único e sem padrão, tornando as peças diferentes entre si. Também possuem alta durabilidade e resistência a impactos, além de variedade de modelos e preços (CAMPOSINHO *et al.*, 2007). Os ladrilhos cerâmicos possuem alta resistência a abrasão, e por serem o revestimento mais popular, possui larga escala de modelos, acabamentos, tamanhos e preços (SOUSA *et al.*, 2003).

Os materiais lenhosos utilizados como revestimento de piso podem ser a madeira maciça; os laminados chamados “flutuantes”; a cortiça; e os painéis compósitos de madeira tipo “viroc” (MARTINS, 2012). Esses materiais possuem um estilo rústico, fácil manutenção e bom custo-benefício, porém, dependendo da escolha a aplicação pode ser trabalhosa, sendo necessário o nivelamento do contrapiso. Alguns cuidados devem ser tomados na manutenção de revestimentos lenhosos, pois o material não pode entrar em contato com a água ou sol intenso (NP EN 335-2, 2011).

Os materiais têxteis utilizados como revestimento de piso podem ser a alcatifa; os tapetes; e passadeiras. Esses materiais desempenham boa durabilidade, resistência ao tráfego severo, de higiene (antialérgica) e de limpeza, além do conforto por se tratar de um piso quente. Possuem vasta gama de cores, texturas e padrões

(MARTINS, 2012).

Os materiais poliméricos utilizados como revestimento de piso podem ser o linóleo; o vinílico; e as resinas de epóxi ou de poliuretano (MARTINS, 2012). Os pisos linóleos e vinílicos consistem em uma lâmina adesiva que possui preço atrativo, variada gama de texturas, cores, padrões e fácil limpeza (SIKA, s.d.). Os revestimentos de resina epóxi ou poliuretano são pisos monolíticos, popularmente conhecidos como porcelanato líquido – ou só piso epóxi. A resina epóxi é autonivelante e recomendada para uso interno. Já a resina de poliuretano precisa da superfície nivelada e pode ser usada em ambientes externos. A exposição à tráfego severo e mobiliário móvel, podem resultar em alterações na cor e brilho, e formar riscos superficiais (SIKA, s.d.).

## 2.2 PORCELANATO LÍQUIDO

O porcelanato líquido é uma alternativa não convencional de revestimento usado tanto no setor industrial como residencial. Ele consiste na aplicação de resinas epoxidicas sobre um substrato, que pode ser piso cerâmico já anteriormente utilizado, piso de concreto, contrapiso, entre outros. Esse tipo de piso pode ser usado em residências por atender um requisito estético e em pisos industriais devido à resistência a elevadas cargas (OLIVEIRA, 2017).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas possui a norma NBR 14050, que trata de sistemas de revestimento de alto desempenho (RAD), ou seja, um revestimento de superfícies compostas de aglutinantes a base de resinas epoxidicas e agregados minerais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Segundo Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho, as resinas sintéticas que compõem esse sistema podem ser epóxi, poliuretano, uretano ou metil metacrilato (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO, 2011).

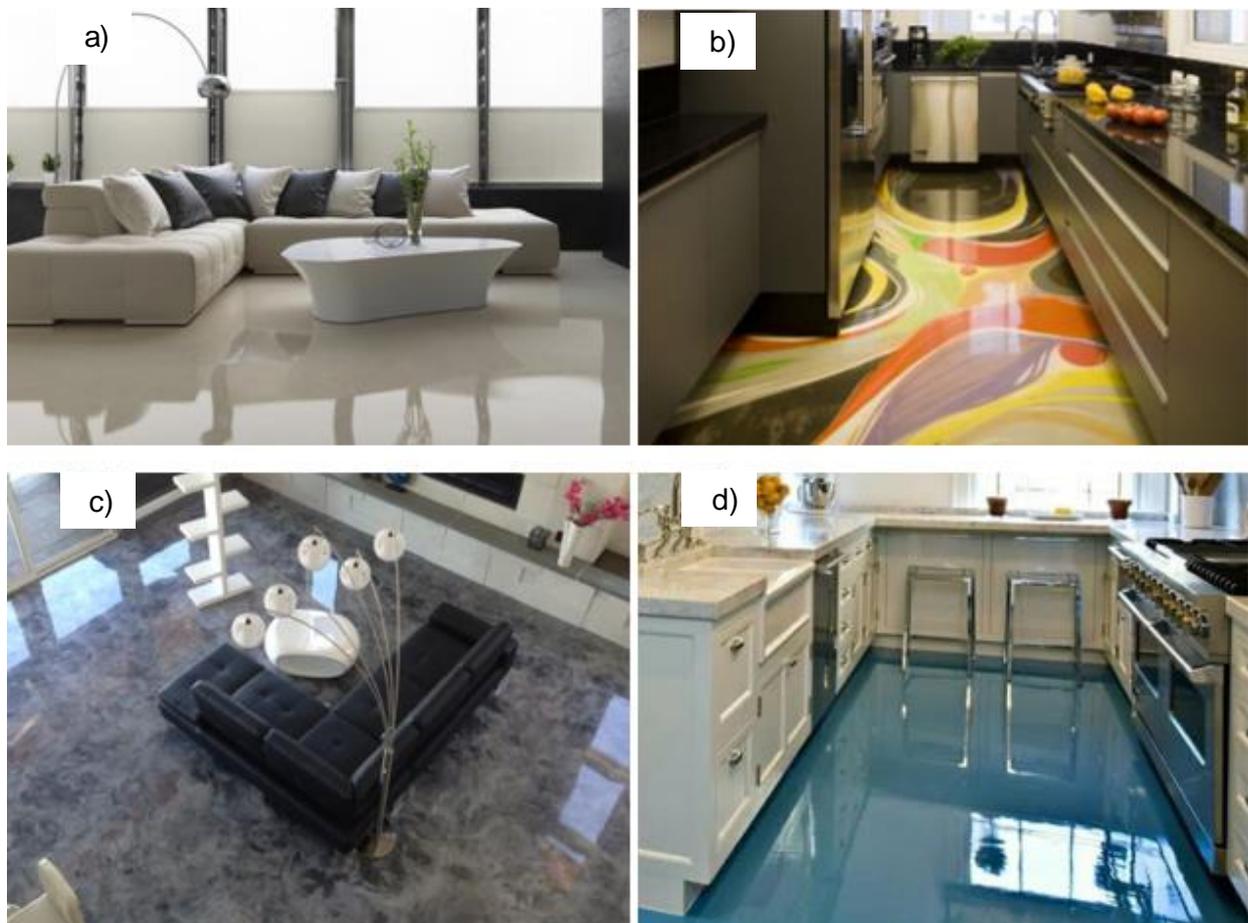
Para aplicação residencial a resina epóxi é a mais utilizada na aplicação do porcelanato líquido, porém é recomendada a utilização da mesma apenas em ambientes internos sob baixa incidência de raios UV, podendo ser em áreas secas ou molhadas. Para áreas externas é recomendado a utilização da resina de poliuretano,

pois essa tem maior resistência química e à raios UV (FILHO *et al.*, 2017).

Segundo a norma NBR 14050/1998, o sistema RAD à base de resina epóxi pode conter solventes, endurecedores, pigmentos e cargas minerais. A função do RAD é proteger substratos com um revestimento resistente a solicitações mecânicas, a ataques químicos e solicitações abrasivas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Os acabamentos do porcelanato líquido são variados e podem ser tradicionais ou personalizados. Podem ser acabamentos de cores sólidas e uniformes, pigmentação de efeito metálico, desenhos de efeito marmorizado e abstratos, ou acabamento 3D, que consiste em um adesivo vinílico de imagem personalizada imprimida que recebe por cima uma camada de resina incolor (FILHO *et al.*, 2017).

Figura 1: Exemplos de acabamentos de porcelanatos líquidos, a) acabamento uniforme b) desenho de efeito abstrato, c) efeito metálico e d) acabamento de cor azul sólida.



(fonte: DECOR FÁCIL, s.d.)

## 2.2.1 Classificação do Revestimento

Segundo a norma NBR 14050/1998, uma das classes do RAD é o revestimento monolítico, que consiste no piso de camada contínua, que não possui juntas de movimentação. Esse revestimento de classe monolítica pode ser do tipo espatulado, autonivelante ou múltiplas camadas. Esses três métodos necessitam da aplicação de um primer de alta espessura para preparação do substrato antes da aplicação da resina epóxi (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

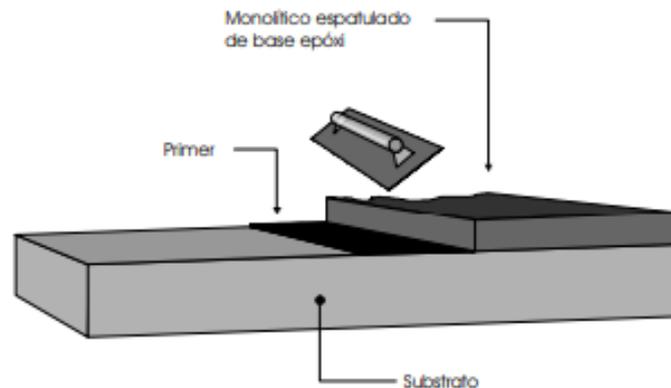
Tabela 1: Classificação dos revestimentos de alto desempenho de classe monolítica.

Tipo	Classe	Descrição	Espessura [mm]	Natureza dos Constituintes	Textura Superficial
1	Monolítico	Espatulado	3 a 10	Resina epóxi Endurecedor Agregados minerais	Lisa Semilisa Áspera
2		Autonivelante	1.5 a 6	Resina epóxi Endurecedor Agregados minerais	Lisa
3		Camadas múltiplas	1.5 a 4	Resina epóxi Endurecedor Agregados minerais Pigmentos	Áspera

(fonte: adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 4)

O revestimento monolítico espatulado é definido como um RAD de consistência seca aplicado a espátula (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). Esse tipo possui maior resistência ao impacto por possuir maior espessura média, porém pode apresentar alta variabilidade de espessura e baixa de nivelamento (OLIVEIRA, 2017).

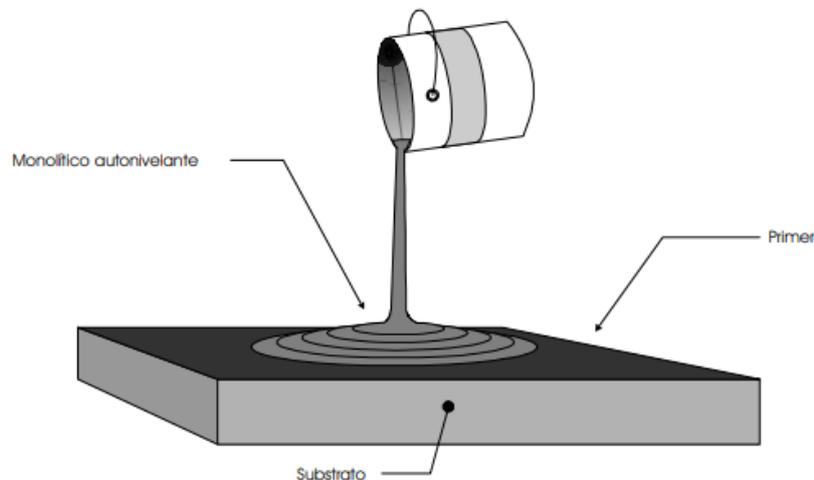
Figura 2: Corte esquemático da aplicação do monolítico espatulado.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 15)

O revestimento monolítico autonivelante é definido como um RAD de alta fluidez, que se autonivela com a força da gravidade, sem necessidade de manuseio externo. É aplicado em uma única camada com textura lisa e brilhante, sendo de fácil limpeza e aplicação (OLIVEIRA, 2017).

Figura 3: Corte esquemático da aplicação do monolítico autonivelante.

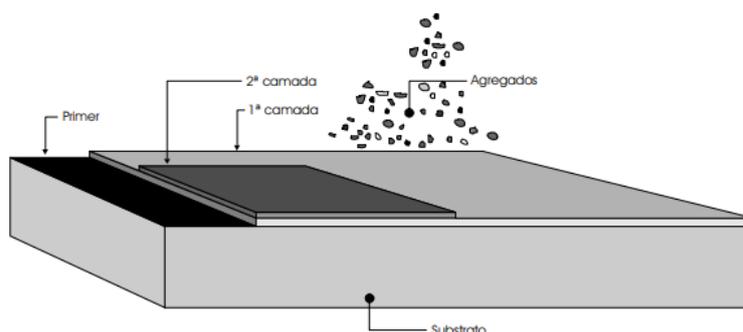


(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 15)

O revestimento monolítico de múltiplas camadas é definido como um RAD formado por um conjunto de camadas bem aderidas entre si (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). Possui alta resistência à impactos e

abrasão, pouca variabilidade de espessura e bom nivelamento (OLIVEIRA, 2017).

Figura 4: Corte esquemático da aplicação do monolítico de múltiplas camadas.



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 15)

### 2.2.2 Vantagens e Desvantagens

Dentre as principais vantagens do porcelanato líquido estão a superfície monolítica, lisa e brilhante, que permite um acabamento amplo para o ambiente e de fácil limpeza, pois não contém rejuntas que acumulam sujeiras. Além disso, esse revestimento apresenta boa resistência mecânica à elevadas cargas e impactos, além de boa resistência química (FILHO *et al.*, 2017).

Dentre as principais desvantagens estão a preparação do substrato e aplicação do porcelanato líquido, por se tratar de um processo delicado e com várias etapas; o aparecimento de anomalias com o passar do tempo, dependendo da forma de uso e aplicação; e possuir sensibilidade a produtos químicos fortes, solventes, e exposição à radiação solar, que podem gerar manchas e amarelamento do piso (FILHO *et al.*, 2017).

Tabela 2: Principais vantagens e desvantagens do porcelanato líquido.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boa resistência a carga mecânica</li> <li>• Boa resistência ao impacto</li> <li>• Boa resistência química</li> <li>• Pode ser aplicado sobre outro piso</li> <li>• Fácil limpeza e manutenção</li> <li>• Monolítico, sem rejuntas</li> <li>• Personalizável - várias cores, estampas</li> <li>• Pouca geração de resíduos</li> <li>• Menor custo que o porcelanato tradicional</li> <li>• Aparência sofisticada</li> <li>• Rápida aplicação - aprox. 3 dias</li> <li>• Impermeável a líquidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escorregadio</li> <li>• Requer preparação para aplicação</li> <li>• Pode aparecer anomalias - manchas, riscos</li> <li>• Perda de brilho com o tempo</li> <li>• Necessita de mão de obra especializada</li> <li>• Sensível a produtos químicos</li> <li>• Sensível a exposição radiação UV</li> <li>• Remoção</li> </ul>

(fonte: adaptada de FILHO *et al.*, 2017, p. 24)

### 2.3 RESINA EPÓXI

A resina epóxi é um polímero termorrígido sintético obtido primeiramente em uma fase líquida ou viscosa e que, após um processo de cura ou reticulação, se transforma em um sólido rígido e quebradiço. Ela é formada pela reação de qualquer diol de alto peso molecular com epícloridrina. É um material versátil que quando curado, apresenta ótima resistência mecânica e ao impacto, alta dureza, resistência à agentes químicos, alta estabilidade térmica, boa estabilidade dimensional com baixa retração, e boas propriedades adesivas (HUNTSMAN, 2010).

Os primeiros experimentos e sínteses desse polímero foram realizadas em 1936 pelo cientista suíço Dr. Pierre Castan com a finalidade de utilização em próteses odontológicas. Posteriormente, em 1939 o cientista americano Dr. S. O. Greenlee continuou os estudos da resina para aplicação como revestimento industrial (SILVEIRA, 2009).

Hoje, sua comercialização pode ser encontrada através da venda de dois componentes líquidos, os componentes A e B, sendo esses o agente de cura,

conhecido como endurecedor e a resina epóxi. Quando os componentes são misturados, é iniciado o processo de cura à temperatura ambiente. Assim, a resina epóxi se torna sólida e rígida, adquirindo todas suas as propriedades finais (HUNTSMAN, 2010).

Segundo a BBC Research, a produção mundial da resina epóxi em 2015 foi de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas. A América do Sul é responsável por 2,1% do consumo mundial. No Brasil, as divisões de aplicações por volume são no setor de componentes elétricos com 43% de consumo em volume, seguido por 31% em aplicações de pinturas, e 9% no setor de construção civil (BBC RESEARCH, 2015).

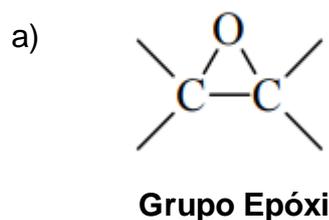
A resina epóxi possui viscosidade relativamente alta, de aproximadamente 12000 cPs à temperatura ambiente de 25°C. Porém, possuem uma janela ampla de valores de viscosidade se modificadas com aditivos e diluentes reativos ou não reativos, chegando a valores de aproximadamente 400 cPs (OLIN, s.d.).

### 2.3.1 Estrutura

“Resinas epóxi são polímeros caracterizados pela presença de pelo menos dois anéis de três membros conhecidos como epóxi, epóxido, oxirano ou etano epóxi”. (ALMEIDA, 2005, p.2).

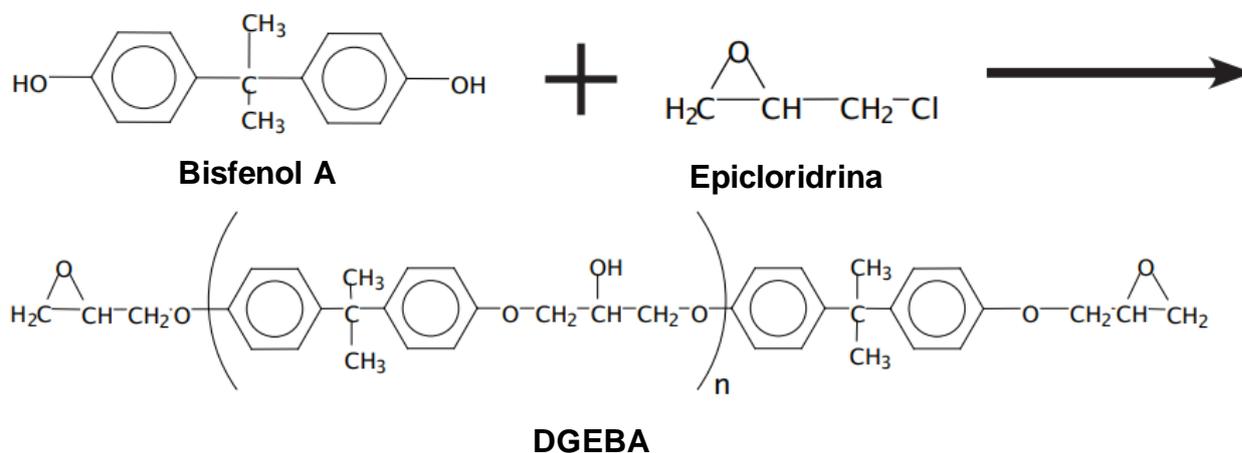
As resinas epóxi mais comuns são as resultantes da reação entre bisfenol A e epicloridina, resultando em um monômero diglicidil éter de bisfenol – A (DGEBA) com dois grupos epóxi por molécula conforme nas figuras abaixo (ALMEIDA, 2005). A resina DGEBA representa 65% da produção mundial, em torno de 1,6 milhões de toneladas em 2014 (BBC RESEARCH, 2015).

Figura 5: a) Grupo funcional epóxi. b) Estrutura química do diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA).



(fonte: adaptada de ALMEIDA, 2005, p. 5 e 6)

b)



(fonte: adaptada de HUNTSMAN, 2010, p.4)

A estequiometria da reação varia com as condições de reação e proporção dos materiais iniciais, que irão determinar o valor de n. As resinas podem ser de classe líquida, sólida e líquida modificada. As resinas líquidas possuem baixo peso molecular e tipicamente apresentam valor de n menor que três, já as resinas sólidas têm um peso molecular mais alto, apresentando um valor de n maior que três (HUNTSMAN, 2010).

### 2.3.2 Processo de Cura

O processo de cura ou reticulação é responsável pela formação de ligações cruzadas entre as moléculas da resina, o que proporciona uma alta resistência mecânica e térmica ao polímero por se tratar de uma transformação química irreversível. Esse processo se inicia pela reação da resina com o agente de cura ou endurecedor, que é escolhido com base no método de cura e propriedades desejadas, pois são fatores que determinam os graus de ligações cruzadas e de cura que irá ocorrer (KERSTING, 2014).

A finalidade do agente de cura é se juntar com os grupos funcionais reativos da resina epóxi e formar ligações cruzadas tornando a reação de cura da resina completa. Há uma variedade de agentes de cura para a resina epóxi como anidridos

de ácido policarboxílico, poliamidas, aminas e catalisadores aniônicos ou catiônicos (CASTRO *et al.*, 2019), porém, em geral é usado como agente de cura um composto de monômeros com grupos reativos amina (ALMEIDA, 2005). Os agentes de cura amina incluem uma variada família, como as aminas alifáticas, aminas cicloalifáticas e aminas aromáticas (HUNTSMAN, 2010).

A reação característica de cura da resina epóxi é exotérmica e a polimerização é em etapas, onde os grupos amina reagem sucessivamente com os grupos epóxi formando ligações cruzadas entre as moléculas da cadeia polimérica. A taxa de polimerização dessa etapa pode ser influenciada pela temperatura, pressão, e proporção de resina e endurecedor. Podem ser adicionados à resina pequenas quantidades de catalisadores a fim de diminuir a energia de ativação do processo de cura (KERSTING, 2014).

Processo de cura de um polímero termofixo como a resina epóxi ocorre em 2 etapas, a gelificação e a vitrificação:

1º. A primeira etapa é a gelificação, indicada pela formação de um gel elástico. É o ponto onde o material passa do estado líquido viscoso para um gel elástico insolúvel, devido ao aumento do tamanho das moléculas e conseqüentemente do peso molecular e da viscosidade. É o início da reação das moléculas de forma linear em moléculas altamente ramificadas, se estendendo por toda a solução (COSTA, 2001).

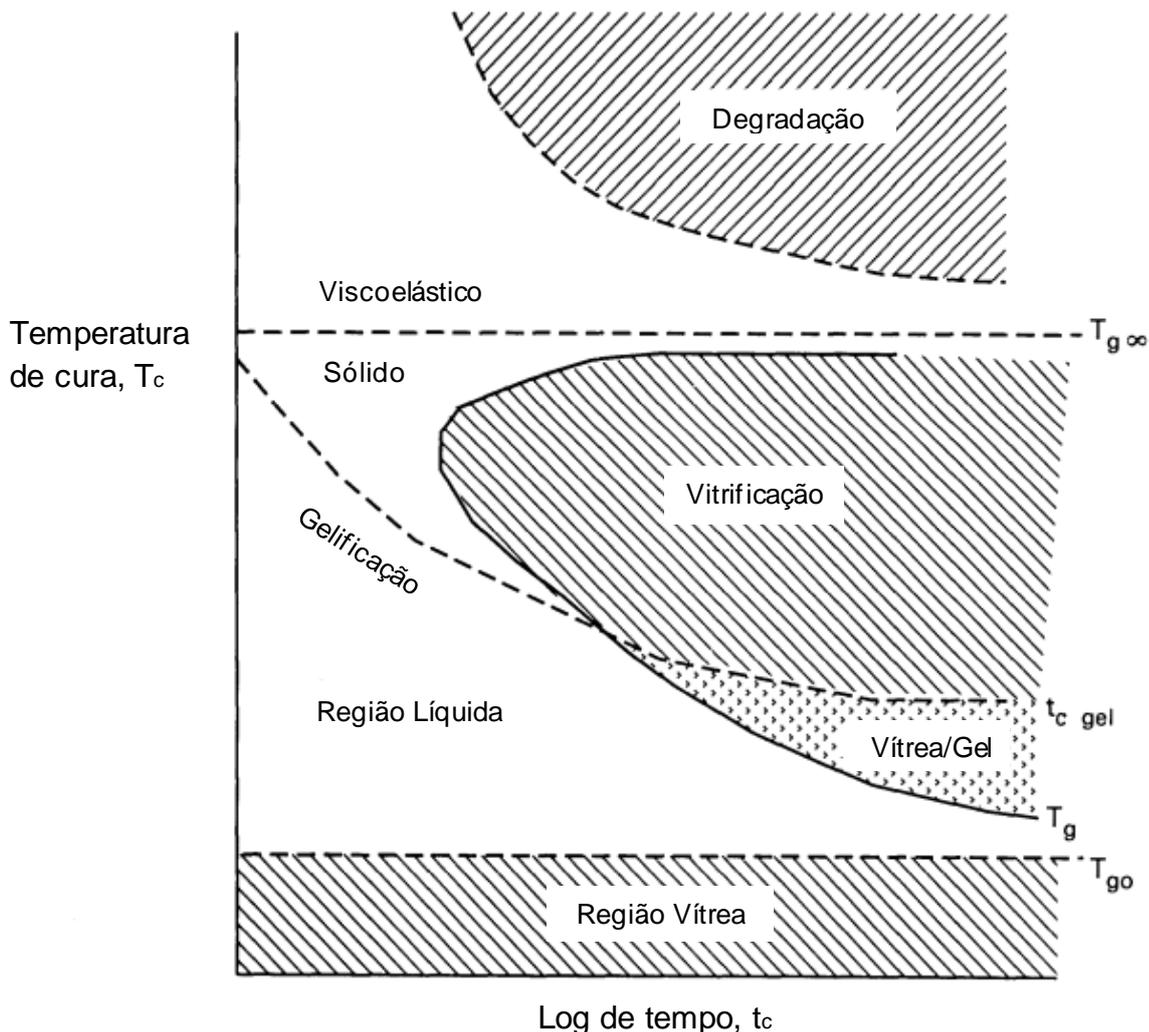
Antes da gelificação, a amostra é solúvel em solventes adequados, mas após o ponto de gel, a rede não se dissolve, mas dilata à medida que absorve o solvente. No ponto de gel, estão presentes moléculas pequenas e ramificadas que são solúveis, portanto, a amostra em cura contém tanto soluções quanto frações de gel (ELLIS, 1993).

2º. A segunda etapa é a vitrificação, indicada pela formação de um sólido vítreo. Essa etapa é subsequente a gelificação e nela ocorre as reações intramoleculares de cura, tornando o material mais denso até que se torne um sólido vítreo. A vitrificação pode ocorrer antes ou após a gelificação dependendo da temperatura de processo de cura, grau de cura, e temperatura de transição vítrea do material (COSTA, 2001).

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é uma característica dos polímeros onde nela e acima dessa temperatura, ocorre a mudança de um estado vítreo para um

estado flexível do polímero, devido a mobilidade das suas macromoléculas. No diagrama de transição transformação tempo e temperatura (TTT) é possível verificar as transformações de gelificação, vitrificação, cura completa e degradação da resina em função do tempo e temperatura. É possível verificar também que a temperatura de transição vítrea da resina aumenta conforme a cura ocorre (ELLIS, 1993).

Figura 6: Diagrama de transformação isotérmica de tempo e temperatura (TTT) simplificado.



(fonte: adaptada de ELLIS, 1993, p.6)

No diagrama TTT,  $T_{go}$  é a temperatura de transição vítrea da mistura de aditivo endurecedor e de epóxi, onde não ocorre nenhum tipo de reação. Para a temperatura de cura ( $T_c$ ) menores que  $T_{go}$ , a mistura se encontra na região vítrea, e a reação de grupos epóxi é inibida. Na região vítrea/gel, a resina epóxi vitrifica antes da gelificação. Para a região de vitrificação, a temperatura de transição vítrea aumenta com o aumento da reticulação da rede. A temperatura  $T_{g\infty}$  é a temperatura limite de

transição vítrea com a concentração do grupo epóxi tendendo a zero, onde a resina é completamente curada (ELLIS, 1993).

### **2.3.3 Agentes de Modificação**

#### *Diluentes*

Os diluentes são compostos químicos utilizados para reduzir a viscosidade da resina afim de facilitar a incorporação de cargas e a processabilidade do material, porém pode modificar algumas propriedades do material dependendo da quantidade de diluente aplicado. Os diluentes são divididos em duas classes, podem ser considerados reativos ou não reativos (ELLIS, 1993).

Os reativos não evaporam para fora do sistema durante o processo de cura da resina, participando da reação de cura e se tornando quimicamente ligado à rede reticulada. Há duas classes principais de diluentes reativos: diluentes contendo epóxi ou compostos que derivam sua reatividade de grupos funcionais diferentes do epóxido. Já os diluentes não reativos são compostos que evaporam para fora do sistema durante o sistema de cura, não se ligando quimicamente à rede reticulada. Estes incluem hidrocarbonetos aromáticos, como tolueno ou xileno, que são capazes de reduzir a viscosidade em um sistema de resina simples de DGEBA usando seu valor inicial com uma carga de diluente de cerca de 5% (ELLIS, 1993).

#### *Aditivos e Cargas*

Os aditivos são utilizados para facilitar os processos ou modificar alguma propriedade da resina. Os aditivos típicos usados para resina epóxi são: agentes umectantes, desaerantes, anti espumantes, tixotrópicos, tenacificantes, entre outros (OLIN, s.d.).

As cargas são componentes incorporados à resina para alterar propriedades como flexibilidade, coeficiente de expansão térmica, densidade ou para diminuir o custo da formulação. As cargas mais usadas são: carbonato de cálcio, alumina, silicato de lítio alumina, argila e sílica (MARK *et al.*, 1985).

## 2.4 APLICAÇÃO DO PORCELANATO LÍQUIDO

A aplicação do porcelanato líquido é um processo criterioso e demanda cuidado, pois cada etapa influencia diretamente na qualidade e durabilidade do resultado final do produto.

É recomendado a contratação de uma empresa especializada ou um profissional com conhecimento e experiência necessário para realizar a aplicação. Assim, o profissional conseguirá analisar as condições gerais do ambiente e superfície onde será realizado aplicação, conhecer a fórmula da resina, saber a quantidade de resina e endurecedor necessário, realizar a preparação e limpeza do substrato corretamente, e por fim, realizar a aplicação do porcelanato precisamente (FILHO *et al.*, 2017).

### 2.4.1 Processo de Aplicação

A primeira etapa do processo é o tratamento da superfície que irá receber o porcelanato líquido, o substrato. A aplicação pode ocorrer tanto em um contrapiso quanto acima de um revestimento cerâmico. Em ambos, é importante que a superfície esteja nivelada, limpa e seca, sem espaços dos rejuntas, sujeiras e qualquer umidade, tudo para garantir um melhor efeito final do porcelanato líquido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Caso o substrato seja o revestimento cerâmico, é necessário a aplicação de uma base niveladora para preencher as juntas entre os pisos, tornando a superfície mais regular. Caso o substrato seja um contrapiso que tenha buracos profundos e esteja desnivelado, é necessário realizar o mesmo procedimento de aplicação da base niveladora (FILHO *et al.*, 2017).

Figura 7: Preenchimento de trincos com a base niveladora para preparação do substrato.



(fonte: GUIA DA RESINA EPÓXI, s.d.)

Quando o substrato estiver nivelado, limpo e seco, é realizada a aplicação do primer à base de resina epóxi para selar o substrato e receber o revestimento. Caso necessário, é realizada após a secagem do primer, mais um lixamento superficial seguido de limpeza (SIKA, s.d.).

Por último é realizada a aplicação da resina final, já com a cor desejada. Comumente a aplicação é realizada com o rodo dentado, porém, alguns profissionais preferem realizar o espalhamento manualmente com uma espátula, de forma mais delicada. Para o acabamento é utilizado o rolo quebra bolhas ou um soprador térmico, para retirar as bolhas internas da resina que podem comprometer o resultado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Figura 8: Aplicação do porcelanato líquido no contrapiso, a) com auxílio do rodo dentado e b) manualmente utilizando uma espátula.

a)



b)



(fonte: GUIA DA RESINA EPÓXI, s.d.)

O tempo de trabalho da resina é de 30 minutos, e o de secagem é de 48 horas, porém é preciso no mínimo 7 dias para cura completa da resina em uma temperatura ambiente de 20°C. Só após esse período é aconselhável colocar móveis sobre o porcelanato. No processo de cura, é recomendado fechar o ambiente para evitar contaminação de poeiras ou insetos que possam cair no produto já aplicado (SAKAMOTO, s.d.).

A norma NBR 14050/1998 recomenda um prazo mínimo de liberação do uso da área após a aplicação do revestimento de 24 horas para tráfego leve, 72 horas para tráfego pesado e intensas solicitações mecânicas e 7 dias para exposição à água e produtos químicos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

## 2.5 MANUTENÇÃO E PATOLOGIAS

### 2.5.1 Cuidados e Precauções

Apesar do porcelanato líquido apresentar propriedades de alta resistência química e impermeabilidade, é recomendado a utilização de água e sabão neutro para realizar a limpeza. Não é recomendado submeter o revestimento em contato com líquidos acima de 60°C e solventes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Não é recomendado também a aplicação do porcelanato líquido em ambientes externos, devido a incidência do sol e intempéries, que podem modificar propriedades do material (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

## 2.5.2 Prováveis Causas

Segundo Garcia e Brito, as causas associadas as anomalias que podem surgir no porcelanato líquido são devido à erros de projeto e execução, a ações mecânicas externas, ações ambientais e erros de utilização do revestimento (GARCIA *et al.*, 2008).

Os erros de execução são os que apresentam o maior número de causas relacionadas com as anomalias apresentadas na próxima seção. A utilização de mão de obra inexperiente, muitas vezes carente de formação e informação sobre os produtos, influencia muito na aplicação e conseqüentemente no desempenho dos revestimentos epóxi (GARCIA *et al.*, 2008).

A lista a seguir apresenta a classificação, bem como uma sequência de ocorrência das causas dentro de cada grupo:

### *Erros de Projeto*

As causas por erro de projeto podem ser: especificação incorreta dos produtos ou camadas; especificação incorreta das espessuras a serem aplicadas; projeto incorreto de juntas estruturais; projeto incorreto de elementos verticais; projeto incorreto dos pontos de drenagem; projeto incorreto dos sistemas de proteção e falta de planimetria (GARCIA *et al.*, 2008).

### *Erros de Execução*

As causas por erro de execução podem ser: interpretação incorreta dos desenhos; inexperiência ou não recomendação do fabricante; falta de testes de diagnóstico do substrato; tratamento mecânico inexistente ou insuficiente do substrato; aplicação em substratos sujos ou pulverulentos; sem aplicação de prime de aderência ou quantidade insuficiente; falta de planimetria do substrato ou inclinação mal executada, quando necessário; desrespeito às dosagens e recomendações do fabricante; quantidade insuficiente de materiais ou alisamento deficiente das superfícies acabadas; uso de agregados ou pigmentos sem controle de tipo, cor ou tamanho; falta de uso de rolo quebra bolhas; insuficiente ou excessivo

atraso entre as camadas; aplicação de com clima úmido e chuvoso ou falta de controle do ponto de orvalho; aplicação em local de trabalho desprotegido; falta de aderência entre o substrato e o revestimento; falta ou má execução de superfícies arredondadas na conexão entre pavimento e paredes; proteção inadequada da borda dos rufos; falta de proteção das bordas das juntas estruturais; controle de qualidade insuficiente e prazos condicionados (GARCIA *et al.*, 2008).

#### *Choques Mecânicos Exteriores*

As causas de choques mecânicos de origem exterior podem ser: objetos em queda; choques e vibrações; movimentos diferenciais; produtos químicos; ataque biológico; choque térmico e vandalismo (GARCIA *et al.*, 2008).

#### *Ações Ambientais*

As causas por ações ambientais podem ser: radiação solar; alto temperatura; umidade excessiva e envelhecimento natural (GARCIA *et al.*, 2008).

#### *Erro de Utilização*

As causas por erro de utilização podem ser: falta de conservação e manutenção; uso prematuro; cargas de tráfego excessivas; lavagem excessiva ou produtos de limpeza não recomendados e modificação do campo de aplicação inicialmente definida (GARCIA *et al.*, 2008).

### **2.5.3 Principais Patologias**

Patologia da construção é definida como sendo a ciência que estuda a causa e efeito de anomalias que surgem em uma construção após a execução.

“A patologia é um conjunto de manifestações anómalas associadas a uma cadeia de fenómenos causa-efeito que está subjacente a essas manifestações. A patologia da construção pode-se considerar uma ciência que estuda as anomalias e as suas causas num tipo de construção” (SALVATERRA, 2009, p. 50).

As anomalias dos revestimentos epóxicos podem ocorrer em 3 locais

principais. O primeiro é a superfície corrente, que se trata da superfície externa onde ocorrem a maior parte das anomalias, em segundo temos as anomalias que ocorrem nos remates, local de ligação entre o revestimento e o substrato, e por terceiro seriam as anomalias que ocorrem nas juntas de dilatação (GARCIA *et al.*, 2006).

Segundo Garcia e Brito as anomalias presentes na superfície corrente são: desacoplamento, empolamento, fissuração, manchas, desgaste, falta de planimetria, bolhas osmóticas, bolhas de difusão de ar e perda de tonalidade. Já nos remates ocorre descolamento nos elementos de ligação. Por fim, nas juntas de dilatação ocorre descolamento nos elementos de ligação e fissuração (GARCIA *et al.*, 2006).

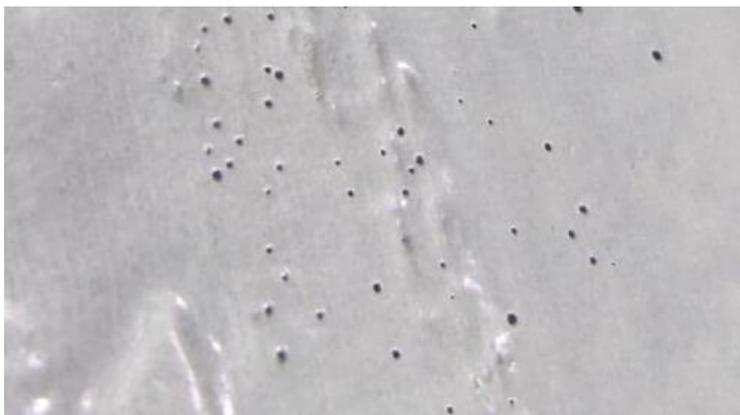
### *Bolhas*

As bolhas de ar são anomalias mais comuns de ocorrer em pisos de porcelanato líquido. Elas ocorrem devido a incorporação de ar no momento da mistura entre a resina e o endurecedor quando a mistura é realizada com alta velocidade. É recomendado que mesmo com a espátula ou misturador mecânico, a mistura ocorra em baixa rotação para evitar incorporação de bolhas adicionais (THE RESIN FLOORING ASSOCIATION, 1999).

Além da formação de bolhas devido à mistura, outro fator é o substrato que estará em contato. Se o substrato for poroso, o ar aprisionado nas porosidades tende a querer subir para a superfície quando a resina adentrar os poros. Para evitar isso, é recomendado primeiro realizar a aplicação do primer sobre o substrato (SAKOMOTO, s.d.)

Segundo Garcia e Brito caso as bolhas da anomalia sejam osmóticas, possuem alta correlação com as seguintes prováveis causas: aplicação com clima úmido e chuvoso ou falta de controle do ponto de orvalho; e umidade excessiva. Já se as bolhas sejam formadas por difusão, possuem alta correlação com as seguintes prováveis causas: inexperiência ou não recomendação do fabricante; sem aplicação de primer de aderência ou quantidade de aplicação insuficiente; falta de uso de rolo quebra bolhas; e aplicação em local de trabalho desprotegido (GARCIA *et al.*, 2008).

Figura 9: Revestimento em resina epóxi com presença de bolhas.



(fonte: BLOG DO PORCELANATO, s.d.)

### *Opacidade e Manchas*

A opacidade se dá pela aparência enevoadas, esbranquiçada e irregular do porcelanato. Essa anomalia ocorre devido a reação do tipo de endurecedor com dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, formando os carbamatos. Para evitar o surgimento desse tipo de anomalia é necessário realizar uma boa escolha do endurecedor e condições ideais de temperatura e mistura no momento da aplicação (OLIN, s.d.).

Caso as condições de temperatura e a escolha e proporção do endurecedor forem apropriadas, a reação de cura da resina ocorre rapidamente, diminuindo a exposição do  $\text{CO}_2$  da superfície com o material, evitando assim a formação da anomalia (OLIN, s.d.).

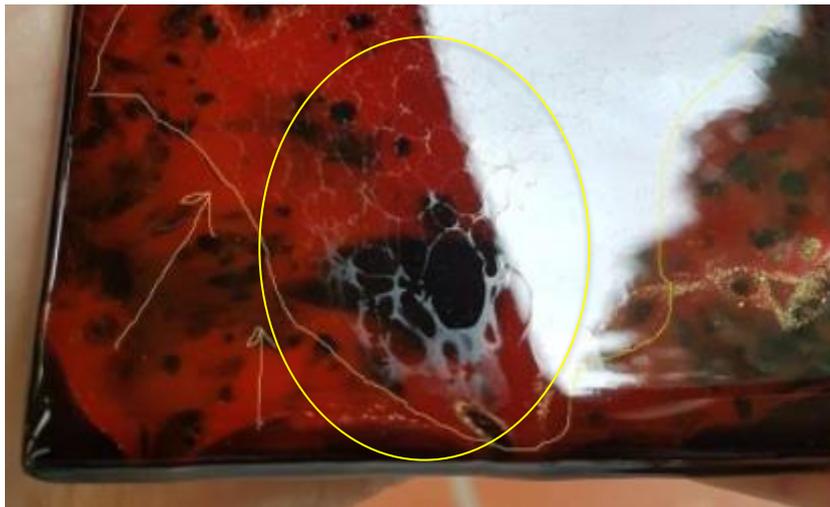
Se a temperatura do ambiente ou substrato estiver baixa no momento da aplicação, ou a camada de resina for muito fina, a energia da reação exotérmica não será suficiente para curar a resina, deixando o endurecedor exposto ao  $\text{CO}_2$  da superfície por mais tempo. Assim a probabilidade de formação da névoa sobre o porcelanato é maior (SAKAMOTO, s.d.).

As manchas podem ocorrer em casos em que a resina foi exposta durante a cura a algum agente químico, água, umidade, intempéries e raios UV. Se o substrato tiver alguma umidade, com o aquecimento da reação de cura que é exotérmica, o vapor de água também tende a querer sair pela superfície, formando manchas na resina (SAKAMOTO, s.d.).

Segundo Garcia e Brito o surgimento de manchas, possuem alta correlação

com as seguintes prováveis causas: inexperience ou não recomendação do fabricante; aplicação com clima úmido e chuvoso ou falta de controle do ponto de orvalho; aplicação em local de trabalho desprotegido; ataque químico e biológico; e lavagem excessiva ou produtos de limpeza não recomendados. Já a perda de cor do revestimento possui alta correlação com as seguintes prováveis causas: projeto incorreto dos sistemas de proteção; desrespeito às dosagens e recomendações do fabricante; radiação solar; e alta temperatura (GARCIA *et al.*, 2008).

Figura 10: Resina epóxi com presença de manchas e opacidade.



(fonte: GUIA DA RESINA EPÓXI, s.d.)

### *Desacoplamento e Trincas*

O desacoplamento se dá pelo descolamento do porcelanato líquido do substrato, devido à má adesão de ambos. Comumente essa anomalia ocorre pela má aplicação do porcelanato líquido durante o processo, como má preparação e limpeza do substrato, proporção e mistura da resina com o endurecedor, grandes variações de temperatura ou umidade presa na subsuperfície (SAKAMOTO, s.d.).

Uma boa limpeza do substrato é muito importante para adesão da resina, pois caso tenha contaminantes como graxa, óleo e solventes não removidos, a adesão não ocorre nesses locais. É importante que o substrato esteja seco e limpo, caso haja algum resquício de umidade ou pó, ao aplicar resina sobre algo solto a tendência de descolamento é grande (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Segundo Garcia e Brito o desacoplamento do revestimento possui alta correlação com as seguintes prováveis causas: vandalismo; e umidade excessiva. Já o surgimento de trincas possui alta correlação com as seguintes prováveis causas: falta de aderência entre juntas do substrato e revestimento; objetos em queda; choques e vibrações; movimentos diferenciais; e cargas de tráfego excessivas (GARCIA *et al.*, 2008).

Segundo Graça *et al.*, o surgimento de trincas advém de falhas pela geração de subprodutos voláteis que resultam de reações químicas internas, como a fusão do polímero (GRAÇA *et al.*, 1989).

Figura 11: Porcelanato líquido com desacoplamento da camada de resina epóxi.



(fonte: GUIA DA RESINA EPÓXI, s.d.)

### *Superfície pegajosa*

A superfície pegajosa é caracterizada pela cura parcial ou incompleta da resina epóxi. Essa anomalia pode ocorrer devido à uma má mistura entre a resina e o endurecedor ou uma má proporção entre os dois componentes. Caso a proporção não tenha quantidade de endurecedor suficiente para realizar a cura, parte da resina continuará viscosa. É recomendado seguir as instruções do fornecedor que constam no rótulo, manter a proporção correta da resina e endurecedor e realizar a mistura homogênea dos dois componentes (SAKAMOTO, s.d.).

A temperatura do ambiente e do substrato também influenciam no surgimento dessa anomalia, pois a condição de temperatura deve estar correta para que ocorra

uma cura completa do porcelanato líquido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Figura 12: Resina epóxi com presença de superfície pegajosa.



(fonte: GUIA DA RESINA EPÓXI, s.d.)

### *Desgaste*

O desgaste do porcelanato se dá pelo aparecimento de riscos que geram a perda de brilho. É uma anomalia que devido à utilização, não pode ser evitado, porém, pode ser retardado com uma boa utilização do piso, evitando ao máximo arrastar móveis ou cargas que gerem abrasão sobre o porcelanato. Nesses casos, é realizado um polimento ou outro banho de resina para apagar os riscos e voltar o brilho (SAKAMOTO, s.d.).

Segundo Garcia e Brito o desgaste do revestimento possui alta correlação com as seguintes prováveis causas: projeto incorreto; objetos em queda; choques e vibrações; ataque químico e biológico; vandalismo; falta de conservação e manutenção; cargas de tráfego excessivas; lavagem excessiva ou produtos de limpeza não recomendados; e modificação do campo de aplicação inicialmente definido (GARCIA *et al.*, 2008).

Figura 13: Porcelanato líquido com desgaste e riscos.



(fonte: LACERDA, 2014, p. 55)

#### 2.5.4 Reparos

As técnicas de reparação se aplicam na reabilitação da integridade do revestimento quando o mesmo apresenta alguma anomalia ou defeito. Dependendo da gravidade do estado do porcelanato, são aplicadas técnicas diferentes que cabe ao profissional aplicador diagnosticar qual técnica se aplica a cada caso (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Algumas técnicas para reparo da superfície corrente podem ser: aplicação de novo revestimento epóxico; aplicação de barreira para-vapor; tratamento de fissuras, nivelamento de pavimento; aplicação de outro tipo de revestimento; entre outros. Nos remates as técnicas são rebaixamento da zona de remate e execução do alisamento das bordas. Já nas juntas é realizado a reparação da junta (GARCIA *et al.*, 2006).

Segundo a norma NBR 14050/1998, reparos superficiais no RAD devem ser realizados apenas onde o revestimento foi afetado, seguindo as seguintes etapas: a) efetuar a delimitação e o corte geométrico da área a reparar; b) remover o revestimento danificado da região; e c) reconstituir o revestimento com o mesmo material, utilizando-se os mesmos procedimentos para a aplicação de cada tipo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

## **2.6 DURABILIDADE**

Existem alguns fatores que podem levar há uma diminuição na durabilidade da aplicação da resina epóxi como porcelanato líquido. É necessário considerar alguns dos seguintes fatores: proporção correta entre a resina o endurecedor e possíveis aditivos da formulação, temperatura de aplicação e de cura, mistura e armazenamento da resina, tempo de utilização e de contato realizado corretamente, variação de tensão durante o período de cura da resina, preparação da superfície de aplicação e mão-de-obra especializada (SALVATERRA, 2009).

Segue nessa seção alguns dos fatores que influenciam e podem diminuir a durabilidade do porcelanato líquido, bem como os requisitos que a aplicação deve atender para aumentar sua durabilidade.

### **2.6.1 Requisitos do Porcelanato Líquido**

Os porcelanatos líquidos são usados em aplicações que necessitam atender conjunta ou independentemente requisitos higiênicos e estéticos, anticorrosivos, antiderrapantes, de resistência à abrasão e a impactos, bem como resistência à ação mecânica e química. Sendo assim, os mesmos devem apresentar essas propriedades e desempenhar minimamente esses requisitos das aplicações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

A escolha do tipo de revestimento deve atender os requisitos mínimos de desempenho, considerando os vários tipos de solicitações mecânicas e químicas que o piso pode sofrer. A tabela 3 contempla o desempenho mínimo que o RAD de tipo 1: monolítico espatulado; tipo 2: monolítico autonivelante e tipo 3: monolítico de múltiplas camadas devem desempenhar para maior durabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Tabela 3: Requisitos de desempenho mínimo por produto.

Requisitos	Dimensão	Tipo		
		1	2	3
Resistência ao impacto	mm	0.3	0.25	0.2
Resistência à abrasão <sup>1</sup>	mm	2.3	0.9	1.2
Resistência à tração	mm	6.5	8.5	n.a.
Resistência à compressão	MPa	45.0	40.0	
Resistência à flexão	MPa	20.0		25.0
Resistência de aderência	MPa	2.5		
Consistência		Seca	Fluida	Pintura
Absorção	%	1.0	0.3	0.3
Resistência química <sup>2</sup>	<sup>3</sup>	acordo entre fabricante e usuário		

NOTA - n.a. significa não aplicável

<sup>1</sup> Valores relativos a NBR 12042

<sup>2</sup> Em função da multiplicidade ou concentração de ácidos

<sup>3</sup> Verificação da alteração da cor e aspecto superficial, limites de variação de volume e massa, limites de variação da resistência à compressão

(fonte: adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 5)

Os requisitos de desempenho indicados na tabela 3 podem ser comprovados pelo fabricante da resina, diante da apresentação dos resultados de ensaios efetuados em seus laboratórios, ou por entidades neutras. O fabricante pode divulgar e informar através de folhetos, catálogos, fichas técnicas ou instruções, os valores dos requisitos de desempenho dos seus produtos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

## 2.6.2 Fatores Físico-Químicos da Resina Epóxi

### 2.6.2.1 Formulação da Resina Epóxi

A formulação de uma resina epóxi depende das propriedades que se deseja alcançar da resina dependendo da aplicação. A resina pode conter os seguintes componentes na formulação: pigmentos, cargas, aditivos, diluentes, aceleradores, e outras resinas. Os endurecedores também podem ser formulados, por isso a combinação das formulações entre resina e endurecedor são muitas, podendo obter

várias características diferentes (SAKAMOTO, s.d.).

Há muitas variedades de aditivos dependendo das propriedades que se procura, que podem ajudar no aumento da durabilidade da resina e evitar o surgimento de anomalias no porcelanato. Há aditivos para diminuição de bolhas (desaerantes), melhoria de dispersão de cargas e pigmentos, aumento e diminuição de viscosidade, acelerar ou retardar o processo de cura, alteração visual, aumento da resistência a raios UV, entre outras (SAKAMOTO, s.d.).

No caso dos diluentes não reativos, a presença do diluente aumenta a extensão da cura na formulação por meio da redução da viscosidade, fornecendo um meio de reação mais propício à mobilidade molecular e, portanto, à reatividade. Porém, em concentrações mais elevadas, as propriedades do epóxi curado podem diminuir, pois devido à sua não reatividade, os diluentes deste tipo podem levar à presença de vazios no polímero curado, principalmente se a reação de cura for realizada em temperatura elevada suficiente para permitir a vaporização do diluente. Além disso, como os compostos do diluente não são quimicamente ligados à rede reticulada, as formulações curadas contendo esses materiais geralmente exibem resistência química inferior (ELLIS, 1993).

No caso dos diluentes reativos, embora capazes de realizar a redução da viscosidade, esses reduzem a funcionalidade do sistema de reação, levando a uma diminuição na densidade de reticulação da formulação curada. Sendo assim, propriedades físicas e mecânicas importantes são afetadas, como resistência à altas temperaturas. Assim, a escolha do tipo e da concentração do diluente é crucial para obter a maior redução de viscosidade com custo mínimo para outras propriedades (ELLIS, 1993).

Os agentes tenacificantes podem aumentar a resistência a fratura sem alterar significativamente a temperatura de transição vítrea ou outras propriedades mecânicas da resina (OLIN, s.d.). Uma série de análises mostram que a incorporação de cargas particuladas, como sílica, microesferas de vidro e tri-hidrato de alumina, pode aumentar a resistência de várias formulações de epóxi (ELLIS, 1993).

O uso de cargas na resina epóxi pode ser considerado benéfico para muitas aplicações, porém pode acompanhar características desvantajosas, como uma densidade e viscosidade aumentada, que provavelmente influenciará o comportamento do processamento da formulação, como espalhamento da resina no

substrato (ELLIS, 1993).

Na tabela 4 abaixo, segue as principais vantagens e desvantagens do uso de cargas na resina epóxi.

Tabela 4: Vantagens e desvantagens da incorporação de cargas de preenchimento.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Custo de formulação reduzido</li><li>• Encolhimento reduzido</li><li>• Resistência aprimorada</li><li>• Melhor resistência à abrasão</li><li>• Absorção de água reduzida</li><li>• Temperatura elevada de deflexão de calor</li><li>• Exotérmica diminuída</li><li>• Maior condutividade térmica</li><li>• Coeficiente de expansão térmica reduzido</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Peso aumentado</li><li>• Viscosidade aumentada</li><li>• Dificuldades de usinagem</li><li>• Constante dielétrica aumentada</li></ul>

(fonte: adaptada de ELLIS, 1993, p.122)

A adição de cargas particuladas geralmente resulta em reduções nas características de resistência, como resistência à tração e flexão. Enchimentos fibrosos, no entanto, quando empregados em níveis de carga maiores do que um valor crítico, frequentemente fornecem melhorias nesses parâmetros de resistência mecânica (ELLIS, 1993). Estudos mostram um aumento significativo da resistência ao impacto de acordo com o aumento da porcentagem volumétrica das fibras. Esse desempenho pode estar associado ao mecanismo de fratura gerado a partir da adesão entre as fibras e a matriz de resina, colaborando na absorção da energia de impacto (TELES *et al.*, 2017).

A resistência ao impacto da resina epóxi aumenta linearmente com a incorporação de fibras de fique em até 30% em volume. Em ensaios algumas fibras de fique ficaram íntegras após os ensaios de impacto, devido à baixa adesão das fibras a matriz, resultando em maior energia de impacto absorvida por causa da propagação de trincas pela interface fibra e matriz, permitindo a formação de uma maior área de fratura longitudinal em relação a uma fratura transversal que ocorre no

epóxi puro (TELES *et al.*, 2017).

Estudos mostram também que a adição de nanopartículas na resina epóxi promove melhorias significativas nas performances ao impacto. O aumento da percentagem em peso de nanoclays aumenta a força média máxima de impacto, além de promover forças médias máximas de impacto superiores às amostras de resina com reforço de pó de cortiça (SANTOS, 2010).

Outra vantagem do uso de cargas é a redução da absorção de água pela resina já que a umidade é a principal responsável por anomalias como bolhas, manchas e desacoplamento. Em estudos sobre a resistência das resinas epóxi sob condições de umidade, mostram que a água interrompe a ligação de hidrogênio na cadeia. O efeito dessa hidrólise é uma redução da resistência à tração e uma redução do tempo de falha sob carga constante, influenciando também a rigidez do polímero e a resistência à fluência (ELLIS, 1993).

A utilização dos aditivos desaerantes é uma forma viável de reduzir as bolhas de ar aprisionadas na resina epóxi. Estudos mostram um acréscimo na resistência a tração da formulação degaseificada à vácuo e das formulações aditivadas. O mesmo comportamento pode ser observado no alongamento à ruptura, já o módulo de Young não mostra diferenças significativas entre as amostras degaseificada e aditivadas. Já no ensaio de impacto, houve melhora nos valores médios para os sistemas degasados, resultado esperado em função da redução do tamanho médio de vazios (OLIVEIRA, *et al.*, 2009).

Quando os epóxios sofrem polimerização e reticulação, ocorre encolhimento durante o processo de cura, o que pode ser prejudicial em uma aplicação de piso monolítico. Por isso a utilização de um agente na formulação que reduza o encolhimento se faz necessário, isso pode ser conseguido através do uso de enchimentos e aditivos flexibilizantes. A incorporação do enchimento reduz o encolhimento pela simples substituição da resina por um composto inerte que não participa do processo de reticulação (ELLIS, 1993).

#### 2.6.2.2 Proporção de Endurecedor e Resina

Na estequiometria da reação de cura a proporção é dada pela relação de um grupo reativo da resina epóxi para um grupo reativo do endurecedor. A variação dessa

estequiometria no processo de mistura pode prejudicar propriedades do polímero e causar surgimento de anomalias. Caso a quantidade estequiométrica de endurecedor e resina for equilibrada, ocorrerá a formação de um polímero termofixo com as propriedades finais em seu máximo valor, com a rede toda entrecruzada, sem restar grupos reativos (OLIN, s.d.).

Caso a quantidade de endurecedor for menor que a estequiometria, ocorrerá a diminuição de densidade de entrecruzamento, formando terminações epóxi livres no polímero. Essa característica pode afetar propriedades físicas deste polímero o tornando inferiores (OLIN, s.d.), além de não permitir a cura completa da resina, resultando em uma aplicação pegajosa e não vítrea.

A tenacidade está associada à capacidade do material em resistir à fratura, tanto no início quanto na propagação, e em estudos de ensaios de tração foi possível analisar o comportamento das formulações de resina e endurecedor quanto a esta propriedade. Os ensaios de tração dos compostos estudados sugerem que a melhor formulação epoxídica é com 50% de agente de cura e 50% de DGEBA, pois resistem mais a formação de fissuras na matriz polimérica (CERON, *et al.*, 2010).

Caso a quantidade de resina epóxi se for menor que é estequiometria ocorrerá a formação de um polímero com estrutura linear com terminações amínicas, cujas propriedades físicas serão inferiores, tornando o polímero sensível a umidade e CO<sub>2</sub>. Esse excesso de endurecedor na mistura pode diminuir o *pot-life*, que é o tempo após a mistura em que a resina pode ser processada para aplicações, e provoca formação de manchas devido a formação de carbamato no polímero pela exposição do endurecedor com o CO<sub>2</sub> em contato com a superfície (OLIN, s.d.).

Com o aumento na razão de epóxi e endurecedor ocorre também o aumento da energia absorvida do polímero sob impacto. As resinas com excesso de epóxi apresentam baixos valores de energia de impacto absorvida, com comportamento de fratura frágil. Já resinas com excesso de endurecedor apresentam maior tenacidade, com maiores valores de energia absorvida. Isso ocorre, pois, a estrutura macromolecular do polímero apresenta grupos amina não – consumidos reativos provenientes do endurecedor, formando um novo segmento moleculares de mobilidade na cadeia, os quais podem absorver maior energia do impacto e contribuir para uma maior tenacidade (ALMEIDA *et al.*, 1996).

Estudos de caracterização por Calorimetria Exploratório Diferencial (DSC)

mostram que o uso de diferentes proporções da resina epóxi e endurecedor resultam na diminuição dos valores obtidos de energia de ativação. Isto ocorre devido à redução do endurecedor nas razões de misturas analisadas. Para as mesmas velocidades de aquecimento a temperatura do pico de reação aumenta para as diferentes razões analisadas. A temperatura de cura da mistura aumenta com o aumento da resina na proporção (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Conforme o aumento da porcentagem de endurecedor dentro de uma resina epóxi, ocorre também o aumento deve ter temperatura de transição vítrea do polímero. Porém, esse aumento ocorre até adição de aproximadamente 100% de endurecedor em massa, após essa porcentagem começa a ocorrer o decaimento da temperatura de transição vítrea no material (OLIN, s.d.).

### 2.6.2.3 Condições de Cura

No processo de cura, é comum especificar um tempo de cura e uma temperatura de cura. No entanto, a temperatura da resina pode não ser constante devido à sua baixa condutividade térmica e ao calor exotérmico de reação que pode variar. O tempo necessário para o centro da resina atingir a temperatura de cura dependerá da difusividade térmica da resina e do endurecedor, da espessura da camada de produto e do coeficiente de transferência de calor do substrato e da resina (ELLIS, 1993).

A maioria das propriedades físicas e mecânicas de uma resina epóxi são determinadas pela natureza e densidade de sua rede reticulada. A estrutura molecular de um epóxi influenciará diretamente sua capacidade de transportar carga e absorver energia. Sendo assim, o grau de reticulação influencia a temperatura de transição vítrea do polímero, sua capacidade de sofrer deformação plástica e suas características de tenacidade a uma dada temperatura (THE RESIN FLOORING ASSOCIATION, 1999).

As resinas epóxis que têm altas densidades de reticulação tendem a ter uma Tg alta, mas são propensas a terem falhas frágeis. Uma baixa densidade de reticulação produz uma estrutura de rede menos rígida que é capaz de sofrer maiores quantidades de deformação plástica que, por sua vez, pode resultar em uma maior tenacidade à fratura. Há aumentos significativos na resistência ao impacto com a

densidade de ligações cruzadas mais baixa (ELLIS, 1993).

Ao elevar a temperatura do sistema para a aplicação de uma pós-cura, é possível formar mais ligações cruzadas, aumentando a dureza e rigidez da resina epóxi. Estudos mostram o aumento da resistência ao impacto com a pós-cura devido ao aumento da ductilidade das amostras. Também mostram alteração das propriedades mecânicas, causando uma elevação na ductilidade da resina pelo aumento do alongamento máximo no ensaio de tração e pela queda nos valores de dureza evidenciada no ensaio de dureza (KNEIPP, 2019).

Estudos mostram que a temperatura de cura e a heterogeneidades geradas do processo manual de aplicação, como as bolhas, tiveram maior influência nas propriedades térmicas e mecânicas da resina do que os processos de pós-cura realizados, já que nos estágios iniciais a cura é controlada pela cinética de química dos reagentes e após a vitrificação é controlada por difusão, o que diminui a taxa de formação de ligações cruzadas de duas a três ordens de grandeza abaixo daquelas nas fases iniciais de líquido e borrachoso (ZARGISKI, 2018).

Informações sobre gelificação e vitrificação da resina epóxi são necessárias para caracterizar um sistema de cura eficiente para garantir que as propriedades da resina curada sejam otimizadas para uma aplicação específica desejada (ELLIS, 1993).

Inicialmente a temperatura de cura é menor que a  $T_g$  da resina, e as taxas das reações de cura são quimicamente controladas cineticamente. Com a formação de moléculas maiores e mais ramificadas, chega-se a um ponto crítico, o ponto de gel, e então ocorre a formação de uma rede tridimensional infinita. Se a temperatura de cura for muito baixa, a vitrificação pode ocorrer antes da gelificação e, então, a reação posterior pode ser inibida. Uma temperatura elevada pode ser usada para reduzir a viscosidade de modo que o endurecedor possa ser misturado à resina e, em seguida, as reações de cura podem ser extintas por resfriamento rápido da mistura a uma temperatura de armazenamento abaixo de  $T_g$  (ELLIS, 1993).

É necessário garantir que a mistura entre resina e endurecedor seja completa antes da gelificação, uma vez que a viscosidade aumenta rapidamente no ponto de gel e a resina não fluirá após a formação de uma rede incipiente (ELLIS, 1993).

#### 2.6.2.4 Temperatura

As condições de temperatura e tempo de cura são fatores importantes na qualidade final da resina. Estudos mostram que quanto maior era a temperatura de cura, maior a quantidade de vazios gerados pela reação de cura, pois devido aos efeitos de transferência de calor, a camada superficial da resina é a primeira a se solidificar, impedindo que o método de extração das bolhas da resina seja eficiente (CASTRO et al., 2019).

É possível verificar a influência da temperatura de cura na Tg da resina. Em temperaturas de cura mais elevadas e menores tempos do processo, ocorre o aumento da temperatura de transição vítrea da resina, porém há aparência de defeitos internos, devido ao pouco tempo para saída das bolhas de ar. Já em temperaturas de cura mais baixas (na faixa dos 23 °C), por um período maior que 24 horas, a resina apresenta uma aparência livre de defeitos e temperatura de transição vítrea um pouco menor (CASTRO et al., 2019).

Há também a influência da temperatura de cura na resistência à fratura de resinas epóxis. Verificou-se que a resistência aumenta, com o aumento da temperatura. Isso ocorre pois o aumento da temperatura tem o efeito de reduzir o limite de elasticidade do polímero, o que, por sua vez, resulta em uma maior zona plástica, que resulta em um maior embotamento das rachaduras. Em temperaturas consideravelmente abaixo da Tg do polímero apresenta falhas quebradiças (ELLIS, 1993).

O aumento da temperatura torna a viscosidade menor e a reatividade da resina maior, porém é necessário um equilíbrio entre ambas propriedades, para que com o aumento da temperatura e reatividade da reação não cure a resina antes do espalhamento da mesma sobre o substrato (SAKAMOTO, s.d.).

Como vimos no diagrama TTT, quanto mais acima a temperatura de cura estiver da Tg da resina, mais rápido a cura irá ocorrer. Porém, é necessário temperaturas elevadas podem causar degradação da resina, causando alteração nas propriedades físico-mecânicas (MENCZEL *et al.*, 2009). Temperatura e tempo de cura insuficientes resultam em uma diminuição da Tg da resina, devido ao menor grau de reticulação da cadeia polimérica, pois a sua Tg aumenta como consequência do aumento da densidade de reticulação (CASTRO et al., 2019).

É necessário também considerar a temperatura de uso, temperatura máxima e mínima, e a velocidade de aquecimento e resfriamento do ambiente, pois pode ocorrer transformações durante o uso afetando a durabilidade do piso, como a intensificação de ataques químicos e possibilidade de choque térmico. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Segundo a The Resin Flooring Association (1999, p. 9) “a maioria das resinas sintéticas apresenta baixas temperaturas de distorção ao calor, geralmente entre 50 e 100°C, muito mais baixas do que os pisos de cerâmica ou concreto.” e não devem ser expostas diretamente à temperaturas superiores a 100°C (THE RESIN FLOORING ASSOCIATION, 1999). Após o aumento da temperatura ocorre na resina o fenômeno do envelhecimento térmico de posterior a degradação térmica, ambos fenômenos alteram propriedades de desempenho da resina (SAKAMOTO, s.d.).

#### 2.6.2.5 Viscosidade

A viscosidade da resina epóxi é uma das propriedades mais importantes para processabilidade e propriedades finais do material. A viscosidade depende de sua estrutura molecular, distribuição de peso molecular e é uma função muito sensível da temperatura. As composições de epóxi autonivelantes para pisos são formuladas de forma que sua viscosidade seja baixa (ELLIS, 1993).

A alta viscosidade da resina pode reduzir a molhabilidade e adesão do material com o substrato, e dificultar o espalhamento e aplicação da resina sob o substrato, prejudicando as propriedades mecânicas do produto final (NASCIMENTO, 2010). O molhamento da resina é uma característica importante para que a resina adentre os poros e vazios do substrato, tornando o acoplamento e adesão maior, evitando assim possíveis descolamento no piso (SAKAMOTO, s.d.).

Resinas de alta viscosidade apresentam menor preço, e maior propriedades de dureza e reatividade comparado às resinas de menor viscosidade, porém apresentam menor remoção das bolhas de ar do substrato e após a mistura da resina com o endurecedor, dificultando o caminho de saída delas até a superfície (SAKAMOTO, s.d.).

Para resinas de alta viscosidade, é difícil misturar os endurecedores de modo que uma dispersão molecular uniforme seja obtida. Com alguns endurecedores, as

reações ocorrem mesmo à temperatura ambiente e, portanto, a viscosidade aumenta antes que a mistura esteja completa, desequilibrando a estequiometria de epóxi e endurecedor no local. Às vezes, é necessário aquecer a resina para reduzir sua viscosidade para que uma mistura molecular possa ser obtida (ELLIS, 1993).

A viscosidade da resina pode ser influenciada caso a resina tenha contato com umidade e água. A viscosidade é inversamente proporcional ao aumento do teor de água no sistema, ou seja, ela diminui na presença da água já que a viscosidade da água (1 cPs em temperatura ambiente) é inferior que a da resina. Como o teor de água diminui a viscosidade da resina, isso pode favorecer a processabilidade, porém a água pode aumentar a reatividade da resina e encurtar a janela de tempo de utilização no sistema até a cura (NASCIMENTO, 2010), além de abaixar consideravelmente essa temperatura  $T_g$  da resina, devido ao efeito plastificante que a água provoca entre as cadeias poliméricas do epóxi (CASTRO et al., 2019).

Para algumas aplicações que necessitam uma viscosidade menor, como no caso do porcelanato líquido, diluentes são adicionados para reduzir a viscosidade para que o processamento possa ser concluído rapidamente, sem afetar negativamente as propriedades do material para aplicação (ELLIS, 1993).

### **2.6.3 Influências do Processo de Aplicação**

A preparação da superfície de aplicação é um ponto importante para uma boa durabilidade do porcelanato líquido. É importante também que o aplicador verifique as condições do substrato como: juntas, trincas, fissuras, destacamentos entre placas e porosidades elevadas; bem como umidade e presença de óleos e graxas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

A vida útil de um piso de resina é proporcional à espessura aplicada (THE RESIN FLOORING ASSOCIATION, 1999). A espessura do revestimento é definida por pela resistência ao impacto e qualidade de preparação do substrato. Caso a frequência de impactos no revestimento seja constante é necessário execução de um revestimento de maior espessura para absorção do impacto (OLIVEIRA, 2017).

Como a maioria dos substratos são de alvenaria e concreto, possuem superfície porosa, que escondem partículas de pó e sujeiras. É importante que com a limpeza e preparação, o substrato esteja seco, limpo e descontaminado para

receber a aplicação da resina. Se aplicar a resina for realizada em uma superfície que contém algo solto, a tendência de descolamento da resina após a cura é grande. O substrato conter rugosidade ou porosidade pode ajudar devido a maior área de contato e agarro da resina no substrato, evitando possível descolamentos (SAKAMOTO, s.d.).

É importante que o aplicador se certifique que toda a superfície que irá receber a resina deve sido tratada e limpa, a fim de remover eventuais contaminações e conferir rugosidade necessária à aderência do revestimento ao substrato. É recomendado que a limpeza seja feita via métodos mecânicos, removendo óleos e graxas superficiais e caso haja impregnações em camadas mais profundas, estas sejam removidas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). Além disso, é importante que o substrato não esteja úmido, visto a sensibilidade da resina e anomalias que são causadas devido umidade e água.

Para facilitar aplicação e espalhamento da resina sobre o substrato, há também aditivos para diminuir tensão superficial da mesma. Como a resina possui uma alta tensão superficial e existe uma diferença de tensão entre a resina e o substrato, o substrato tenta repelir e dificultar seu arrastamento da resina. Uma forma de tentar igualar a tensão superficial da superfície é aplicando uma fina camada de resina sobre o substrato (SAKAMOTO, s.d.).

É importante também que a mistura da resina com o endurecedor e quaisquer outros componentes deve ser concluída antes do início da gelificação. A origem de algumas anomalias em resinas curadas pode ser devido à mistura incompleta, em que existem regiões ricas em endurecedor e outras pobres. Quando a estequiometria da resina e do endurecedor é considerada, essa diferença irá limitar a reação química e, portanto, a obtenção de propriedades físicas e mecânicas ideais (ELLIS, 1993).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da durabilidade dos revestimentos de resina epóxi é algo difícil devido aos vários fatores e variáveis que lhes estão associados, além do fato de obter relativamente poucos trabalhos científicos publicados sobre a essa aplicação. Esses fatores condicionam o desenvolvimento aprofundado de diversas questões relacionadas à aplicação, porém também serve de estímulo para construção demais trabalhos, pesquisas e disseminação de informações. Nesse quesito, as análises e fatores levantados nesse estudo revelam pontos importantes que podem contribuir para a base de informações técnicas e científicas dessa aplicação e ajudar projetistas, construtores e consumidores de revestimentos de piso de resina epóxi em residências.

Como já foi referido, embora esse estudo apresente inúmeras variáveis de causas que podem afetar negativamente a durabilidade do porcelanato líquido, foi obtido um cenário geral das principais influências, levando em consideração tanto fatores técnicos como processo de aplicação, condições de serviço, adequabilidade ao uso e mão de obra especializada; quanto fatores mais científicos da resina epóxi como escolha e formulação da resina e do endurecedor, fatores de influência no processo de cura, temperatura e viscosidade do material. Todos esses fatores podem causar influências e alterações nas propriedades de requisito da resina e da aplicação, favorecendo o surgimento de anomalias prematuras e conseqüentemente, diminuir a qualidade e durabilidade geral do porcelanato líquido.

Como objetivos específicos do trabalho, foi elencado as principais anomalias que podem surgir no porcelanato líquido e suas prováveis causas, sendo essas de origens inerentes ao projeto, processo de execução e aplicação, material escolhido, ou causas de origens externas como fatores ambientais, climático, choques mecânicos e forma de utilização. Foi levantado também as propriedades mínimas requisitadas que o porcelanato líquido e a resina epóxi devem cumprir para garantir uma durabilidade longa e adequada.

No levantamento de fatores da resina epóxi que influenciam nas propriedades de requisitos para durabilidade foi levado em consideração como a formulação da resina com aditivos, diluentes e cargas, podem melhorar propriedades mecânicas, químicas e térmicas do polímero, porém em dosagens incorretas, a formulação e

esses componentes podem prejudicar as propriedades do material. Outro ponto discutido foi a proporção e mistura entre o endurecedor e a resina para obtenção de uma cura correta e adequada do porcelanato líquido, providenciando assim boas propriedades mecânicas e evitando o surgimento de anomalias.

Outro ponto abordado foi as condições apropriadas de tempo e temperatura da cura, que resultam em boas propriedades físicas e mecânicas do material, como grau de reticulação das cadeias poliméricas, peso molecular e temperatura de transição vítrea, características essas fortemente ligadas a propriedades mecânicas do polímero. Fator da temperatura também se torna relevante por facilitar a reatividade da reação de cura, evitar surgimento de bolhas de ar e influenciar na viscosidade da resina, que por sua vez facilita sua mistura, molhamento e espalhamento da resina na aplicação.

De forma geral a realização deste trabalho foi efetuada com empenho em buscar fatores que podem melhorar a durabilidade da resina epóxi como revestimento de piso. Espera-se que esse estudo possa contribuir com informações relevantes e permitir a dissipação de cada vez mais estudos e pesquisas sobre deste tema. De forma a possibilitar estudos semelhantes é exposto algumas sugestões, como um comparativo entre diferentes materiais poliméricos usados no RAD; fatores de influência em uma propriedade específica do porcelanato líquidos; ou até mesmo o estudo da viabilidade de novas tecnologias nessa aplicação, como nanocompósitos de resina.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14050/1998: **Sistemas de revestimentos de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais - Projeto, execução e avaliação do desempenho – Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO. CR 004/2012 – **Guia prático para preparação de superfícies de concreto**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://site.anapre.org.br/pdfs/CR004-12->

GUIA\_PRATICO\_PARA\_PREPARACAO\_DE\_SUPERFICIES\_DE\_CONCRETO.pdf > Acesso em: 1 de outubro de 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PISOS E REVESTIMENTOS DE ALTO DESEMPENHO. CR 002/2011 - **Recomendações para a seleção de revestimento de alto desempenho (RAD)**. São Paulo, 2011. Disponível em: [https://site.anapre.org.br/pdfs/CR002\\_RECOMENDACOES\\_PARA\\_A\\_SELECAO\\_D\\_E\\_RA](https://site.anapre.org.br/pdfs/CR002_RECOMENDACOES_PARA_A_SELECAO_D_E_RA) Acesso em: 1 de outubro de 2021.

ALMEIDA, Cleber Nogueira de. **Propriedades mecânicas e térmicas do sistema epóxi DGEBA/ETILENODIAMINA modificado com nanoplateformas de silsesquioxano substituídas com grupos esteris**. 2005. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2005.

ALMEIDA, José R. M. d'., MONTEIRO, Sérgio N., **Efeito da variação da razão resina/endurecedor sobre a resistência ao impacto de uma resina epóxi**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, p. 44-49, jan./mar. 1996.

ALMEIDA, Maria O. de B., BARROS, Michelli S. M. de., VILELA, Thamise S. V. **Avaliação da proporcionalidade da mistura na cinética de cura da resina epóxi**. Contribuição técnica ao 71º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 16º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 26 a 30 de setembro de 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BCC RESEARCH, **Epoxy resins: applications and global markets**. 2015. 157 f. Disponível em: <<https://www.bccresearch.com/market-research/plastics/epoxy-resins-applications-markets-report.html>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

BLOG DO PORCELANATO, **Os piores problemas com porcelanato líquido (e como resolver)**. Disponível em: <<https://www.blogdoporcelanato.com.br/problemas-com-porcelanato-liquido/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

CAMPOSINHOS, Rui de Sousa; AMARAL, Pedro. **Caderno técnico de aplicação**,

**uso e manutenção de rochas ornamentais.** Assimagra, Lisboa, 2007.

CASTRO, Alexandre M., FRANCISQUETTI, Edson, GASPARIN Alexandre L., **Influência da temperatura e tempo de cura na transição vítrea da resina epóxi.** Scientia Cum Industria, v. 7, n. 3, p. 15 - 23, 2019.

CERON, Luciano P., EINLOFT, Sandra M. O., LIGABUE, Rosane A., LOPES, Natália F. **Comportamento Mecânico à Tração da Resina Epóxi DGEBA/Poli-aminoamida e Amina para Diferentes Formulações da Razão Estequiométrica.** V Mostra de Pesquisa da Pós-Graduação - Programa de PGETEMA, Faculdade de Engenharia, PUCRS, 2010.

COSTA, A. P. O., **Estudo do comportamento cinético e mecânico – dinâmico de resinas epóxi a base de óleo de soja epoxidado.** 2001 107 f. Tese de Mestrado – Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DECOR FÁCIL, **Porcelanato líquido: saiba tudo sobre este tipo de piso.** S.d. Disponível em: <<https://www.decorfacil.com/porcelanato-liquido/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

ELLIS, Bryan. **Chemistry and technology of epoxy resins.** 1 ed. Sheffield: Springer Science + Business Media, 1993. 332 p.

FILHO, Cláudio M. C., COSTA, Darlan I., **Utilização do porcelanato e da resina epóxi no revestimento de piso: um comparativo econômico.** 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Cesmac, Maceió, 2017.

GARCIA, J., BRITO, J., **Anomalias em pavimentos industriais com revestimentos epóxidos e sua reparação.** Actas do 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios - PATORREB 2006, 20 - 21 de março 2006, FEUP, 785-794, FEUP ou Comissão Organizadora do Patorreb 2006, Porto.

GARCIA, J., BRITO, J., **Inspection and diagnosis of epoxy resin industrial floor coatings.** Journal of Materials in Civil Engineering – ASCE, vol. 20, no. 2, February 1, 2008, 20(2): 128-136.

GRAÇA M. L.; J. R. M. D'Almeida; F. A. Darwish. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, 1989, 11, 133.

GUIA DA RESINA EPÓXI, **Porcelanato Líquido é bom? Como saber?** Disponível em: <<https://guiadaresinaepoxi.com/porcelanato-liquido-e-bom/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

GUIA DA RESINA EPÓXI, **Porcelanato líquido no contrapiso: veja como é**

**aplicado!** Disponível em: <<https://guiadaresinaepoxi.com/porcelanato-liquido-no-contrapiso-veja-como-e-aplicado/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

**GUIA DA RESINA EPÓXI, Névoa blush ou esbranquiçado na resina epóxi: o porquê isso acontece.** Disponível em: <<https://guiadaresinaepoxi.com/nevoa-blush-ou-esbranquiçado-na-resina-epoxi-o-porque-isso-acontece/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

HUNTSMAN CORPORATION, **Sistemas de Resina Epóxi.** Disponível em: [https://www.maxepoxi.com.br/pdf/guia\\_de\\_manuseio\\_seguro\\_2011.pdf](https://www.maxepoxi.com.br/pdf/guia_de_manuseio_seguro_2011.pdf). Acesso em: 1 de outubro de 2021.

KERSTING, Daniel de Freitas. **Cura de compósitos de sistemas epóxi via irradiação de micro-ondas.** 2014. 158 f. Dissertação - Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

KNEIPP, Andrei S. **Efeitos dos parâmetros de pós-cura nas propriedades mecânicas da resina epóxi.** Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, 2019.

LACERDA, Fernanda Caldeira de. **Revestimentos de piso para restaurantes e cozinhas industriais.** 2014. 68 f. Monografia - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

MARK, H.F.; KROSCWITZ, J.I.; **Emulsion Polymerization to Fibers, Manufacture.** Wilay, J. & S., (Ed.); New York, 1985, p.422.

MARTINS, Albano J. G. **Estudo da durabilidade dos revestimentos de piso.** 2012. 415 f. Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções, Universidade do Porto, Porto, 2012.

MENCZEL, J.D.; PRIME, R.B., **Thermal analysis of polymers, fundamentals and applications,** 1 ed., New York, Wiley; 2009.

NASCIMENTO, Richard R. do. **Estudo do comportamento reocinético, propriedades de temperatura de transição vítrea e viscosidade de sistemas de resinas epóxi.** 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

NP EN 335-2, **Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira – Definição das classes de risco – Parte 2: Aplicação à madeira maciça.** Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2011.

OLIN COPORATION, **Conceitos básicos de resinas epóxi aplicados a tecnologia de compósito.** Disponível em

[http://sampe.com.br/emailmkt/v\\_congresso\\_sampe/cobertura/olin.pdf](http://sampe.com.br/emailmkt/v_congresso_sampe/cobertura/olin.pdf)>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

OLIVEIRA, Paola Corte Real. **Revestimento monolítico de alto desempenho: Estudo comparativo entre aplicação de resina metil metacrilato (MMA) e pintura com resina epoxídica a substrato de concreto**. 2017. 100 f. Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação (Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

OLIVEIRA, Alexsandro, ANDRADE, Pablo A. de., AMICO, Sandro C. **Efeito da adição de aditivos desaerantes nas características de resinas epóxi**. Anais do 10o Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009

REDELEASE. **Kit porcelanato líquido + primer epoxi**. Disponível em: <<http://www.redelease.com.br/lojavirtual/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

RETAPRENE, **Qual a durabilidade do porcelanato líquido**. Disponível em: <<https://www.retaprene.com.br/qual-a-durabilidade-do-porcelanato-liquido/>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

SAKAMOTO, Clóvis. **Clóvis Sakamoto – Especialista em resinas epóxi**. S.d. Youtube. Disponível em: <https://www.youtube.com/channel/UCeoQjBdk-9SWM1xCp55uamw>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

SALVATERRA, Luís G.C.P. **Processos de manutenção técnica de edifícios em revestimentos de piso: pavimentos industriais**. Portugal: Universidade do Porto, 2009.

SANTOS, Paulo S. P. dos. **Resistência ao Impacto de Compósitos Híbridos**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica - Covilhã, Outubro de 2010.

SIKA. **Ficha técnica de produto: Sikafloor – 264**. Disponível em: <[https://bra.sika.com/content/dam/dms/br01/j/sikafloor\\_-264.pdf](https://bra.sika.com/content/dam/dms/br01/j/sikafloor_-264.pdf)> Acesso em: 1 de outubro de 2021.

SILVEIRA, João Borges de. **Preparação e caracterização de resina epóxi transparente dopada com nanoestruturas semicondutoras de CdS**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

SOUSA, Augusto V. S., FREITAS, Vasco M. A. Peixoto de, SILVA, J.A. Raimundo Mendes da. **Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos**. Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, Coimbra, 2003.

TELES, Maria C. A., FERREIRA, Marcos V. F., LOPES, Felipe P. D., MARGEM, Frederico M., MONTEIRO, Sergio N., SILVA, Luís C. **Resistência ao impacto charpy e izod em compostos de matriz de epóxi reforçados com fibras de fique.** Contribuição técnica ao 72º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 17º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 02 a 06 de outubro de 2017, São Paulo, SP, Brasil.

THE RESIN FLOOR ASSOCIATION. **Guide to the specification and application of synthetic resin flooring.** Staffordshire, UK, 1996 (revisado em junho de 2016). Disponível em: < <https://www.ferfa.org.uk/wp-content/uploads/2018/05/SpecGuideCPD.pdf>>. Acesso em: 1 de outubro de 2021.

ZARGISKI, Robson T. **Estudo do comportamento das propriedades termomecânicas da resina epóxi a partir do processo de pós-cura.** Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Graduação em Engenharia Naval - Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, 2018.