

Análise de desempenho de argamassas cimentícias para rejuntamento de revestimento em piscinas

Performance analysis of cementitious mortars for pool coating

Roger Albert Schiessl ¹  <https://orcid.org/0000-0002-6580-5307>

Geovani Gabardo Dias Pinheiro ¹  <https://orcid.org/0000-0002-8726-0010>

Lorenzo Honoré Vargas ¹  <https://orcid.org/0000-0002-3244-623X>

Laila Valduga Artigas ²  <https://orcid.org/0000-0003-1184-0067>

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curso de Engenharia Civil, Curitiba, Brasil

² Professora Doutora da Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curso de Engenharia Civil, Curitiba, Brasil

E-mail do autor principal: Roger Albert Schiessl roger.asc@hotmail.com

Resumo

O rejuntamento é parte essencial em um sistema de revestimento; portanto, considera-se fundamental o uso de uma argamassa de alta qualidade que garanta o atendimento dos requisitos de norma. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo a apresentação de um estudo sobre argamassas cimentícias para rejunte de revestimentos cerâmicos em piscinas. Inicialmente, foram selecionadas quatro amostras de argamassas cimentícias industrializadas, sendo duas delas de uso apenas para rejunte, e outras duas para rejunte e assentamento de placas. Após realização dos ensaios das normas NBR 14992 e NBR 13279, foram analisadas amostras de água retiradas de piscina, para verificar a existência de compostos químicos agressivos, juntamente ao ensaio de ataque por sulfatos nas amostras das argamassas citadas, visando analisar o comportamento destes produtos num ambiente mais agressivo. Por fim, concluiu-se que o teor de sulfato na água da piscina avaliada, embora abaixo dos valores limites, não deve ser descartado como possível causa da deterioração no rejunte. Para as argamassas testadas, avaliou-se que a maioria delas apresentou bons resultados quanto ao exigido em norma, com destaque para a R3 (que mostrou ser a melhor opção para o fim tema do estudo) e para a CR2, que obteve resultados satisfatórios em quase todos os ensaios.

Palavras-Chave: Argamassa; Rejunte; Piscina; Sulfato; Manifestações Patológicas.

Abstract

Grouting is an essential part of the building's coating system, and, therefore, it becomes important to use a high quality mortar to ensure compliance with standard requirements. So the present work aims to present a study on cement mortars for grouting of ceramic tiles in swimming pools. Initially, four samples of industrialized cementitious pool grouting mortar were selected, two of which only for grout, and two for grouting and plate laying. After performing the tests of NBR

14992 and NBR 13279 standards, samples of water extracted from a swimming pool were analyzed to verify the existence of aggressive chemical, and a sulfate attack test was conducted aiming to analyze the behavior of these products in a more aggressive environment. Finally, it was concluded, about the effects from the sulfate content on the pool water, that this concentration, despite lower than the limit values, must not be discarded as a possible cause to the degradation found on the grout. About the mortar samples, it was evaluated that most of them showed up good results according to standards requirements, highlighting R3 (showed itself as the better option to the proposed application) and CR2, which had satisfactory results in almost all tests.

Key-words: Mortar; Grouting; Swimming Pool; Sulfate; Pathological Manifestations.

1 Introdução

Parte do grupo das argamassas, compostos formados basicamente por uma mistura de aglomerante, agregado miúdo e água, as argamassas de rejunte se apresentam como objeto de considerável importância dentro do âmbito da engenharia. Dentro do grupo das argamassas de rejunte, destacam-se os rejuntas para aplicação em piscinas, que se traduzem no foco deste trabalho. Devido a fatores como a necessidade de possuírem alta eficiência na impermeabilização e à exposição a produtos químicos agressivos, esse tipo de argamassa de rejunte deve possuir qualidades específicas, de modo a atender aos requisitos solicitados por norma.

A NBR 14992 [1] apresenta os requisitos mínimos para argamassas cimentícias de rejunte, bem como os métodos de ensaio a serem executados para a verificação desses parâmetros, abrangendo propriedades como a retenção de água, variação dimensional, resistência à compressão, entre outros. Mais relacionada ao foco deste estudo, que são os rejuntamentos em piscina, a NBR 10339 [2] fornece as exigências mínimas para o desempenho de piscinas, englobando propriedades que estão diretamente relacionadas à argamassa empregada no rejuntamento do revestimento cerâmico.

O presente estudo busca analisar argamassas para rejunte de piscinas provenientes de diferentes fabricantes, verificando as condições de durabilidade destes materiais à luz da normatização vigente, e buscando elucidar causas para o aparecimento de manifestações patológicas em rejuntamentos de piscinas, apontando possíveis relações com os produtos químicos presentes na água.

Para realização dos ensaios, foram selecionadas amostras de 4 argamassas cimentícias industrializadas para rejunte em piscinas, aqui identificadas como argamassas CR1, CR2, R3 e R4. As duas primeiras se enquadram como argamassa colante e de rejunte simultaneamente, enquanto que as restantes apresentam como função apenas o rejuntamento do revestimento.

Foram então estabelecidos os seguintes objetivos específicos: verificação da hipótese de um possível ataque por sulfatos (presentes nos produtos de tratamento da água de piscina), que pode diminuir a durabilidade das argamassas de rejunte; verificação da influência do excesso de porosidade das argamassas na durabilidade desses materiais; e possíveis causas da degradação acelerada de rejuntas cimentícios em piscinas.

2 Fundamentação teórica

Como define Maranhão et. al [3], a água é o agente de degradação mais atuante em função das alterações mecânicas e térmicas que causa nos materiais, além também da alteração na cor de superfícies. Apenas por estar em contato com a água ou umidade, diversas reações degradantes a substratos compostos por materiais aglomerantes, como é o caso das argamassas, podem ser desencadeadas, sendo elas reações como a hidrólise de compostos da pasta, problemas relacionados à expansão, solubilização e transformação de produtos químicos atmosféricos que venham a ser danosos ao rejuntamento (formação de ácidos destrutivos), bem como a dissolução e lixiviação de sais até a superfície, ocasionados pela absorção da água (o que acarreta em degradação estética/superficial e até mesmo mecânica do conjunto).

A NBR 10818 [4] indica dois parâmetros que devem ser aplicados para o controle da qualidade da água de piscina: o pH entre 7,2 e 7,8 e cloro livre entre 0,8 a 3,0 mg/l, e aspectos qualitativos de limpidez e matérias flutuantes. Ou seja, dentro do contexto geral das manifestações patológicas em rejuntas para piscinas deve estar inclusa a análise qualitativa da água, um dos fatores que pode contribuir para o início ou agravamento destes problemas citados, que também podem ocorrer devido a falhas no processo executivo e especificação incorreta dos materiais.

Um dos agentes agressivos passíveis de serem encontrados em processos de tratamento de água de piscinas está representado pelos membros do grupo dos sulfatos, como o sulfato de cobre e o sulfato de alumínio. No caso das piscinas, o *Pool Water Treatment Advisory Group* (PWTAG, 2011) [5] aponta que, em condições ideais, a concentração de sulfato (expressa na forma de SO_3) na água não deve exceder 300 mg/l, equivalente a 360 mg/l de SO_4^{2-} . Concentrações superiores podem desencadear reações generalizadas com materiais que contenham cimento Portland, incluindo o rejunte.

A NBR 12655 [6] estabelece que soluções com concentrações de SO_4^{2-} da ordem 150 a 1.500 mg/l em contato com o concreto configuram ambiente com condição de agressividade moderada, enquanto que concentrações acima de 1.500 mg/l configuram condição severa de agressividade. Para o Building Code Requirements for Structural Concrete – ACI 318-19 [7] o ambiente também é considerado de agressividade severa para concentrações acima de 1.500 mg/l, e, para concentrações acima de 10.000 mg/l, considera-se agressividade muito severa.

Apesar disso, Kulisch [8] verificou a ocorrência de grande deterioração das paredes de concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), construída há apenas 15 anos, com a presença de uma concentração média de 45,35 mg/l de SO_4^{2-} na água, valor abaixo da concentração mencionada pelo PWTAG [5], e bem inferior ao valor das concentrações citadas pela NBR 12655 [6] e pelo ACI 318-19 [7] para as condições mais críticas de agressividade, constatando uma incerteza quanto à quantidade mínima de sulfato presente na água capaz de prejudicar a integridade de concretos e argamassas.

3 Metodologia

3.1 Materiais

Foram empregados dois tipos de materiais: amostras de argamassas para rejunte em piscinas e amostras de água de uma piscina analisada. Para as amostras de argamassas, optou-se pela utilização de quatro argamassas industrializadas, sendo duas delas argamassas colantes e de rejunte (AC/AR), e duas delas apenas para rejunte (AR). Essa escolha foi feita no intuito de examinar se essa característica poderia ser identificada como um fator determinante no quesito durabilidade das amostras. Na Tabela 1 estão detalhadas as amostras utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

Tabela 1: Amostras de argamassas ensaiadas

AMOSTRAS DE ARGAMASSAS ENSAIADAS			
PRODUTO	TIPO	COR	QUANTIDADE POR SACO (Kg)
CR1	AC/AR	Branca	20
CR2	AC/AR	Branca	20
R3	AR	Branca	5
R4	AR	Branca	4

Para a análise da água de piscina, as duas amostras foram coletadas em um intervalo de uma semana entre uma coleta e outra, e foram empregados os recipientes estéreis disponibilizados pelo laboratório responsável pela análise. A piscina em questão é uma piscina pública, de uso comum por sócios de um clube recreativo da cidade de Curitiba, e há histórico de degradação do rejunte no tanque.

3.2 Métodos

Para análise das propriedades mecânicas das argamassas, foram realizados os ensaios previstos nas normas técnicas NBR 14992 [1], que tem como foco as argamassas cimentícias para rejuntamento de placas cerâmicas, e NBR 13279 [9] que, apesar de não ter como foco as argamassas de rejunte, apresenta dimensões de corpo de prova para os

ensaios de resistência diferentes das previstas na NBR 14992 [1]. Dessa forma, buscou-se comparar os resultados desses ensaios seguindo os procedimentos de cada norma, visando determinar se o formato e dimensões do corpo de prova impactam de forma significativa a resistência obtida.

Com relação à análise da resistência das argamassas ao ataque por sulfatos, foi seguido o procedimento previsto na NBR 13583 [10], que busca examinar a resistência química da amostra com base na variação dimensional sofrida quando exposta a uma solução de sulfato de sódio.

Por fim, para análise da composição das amostras de água de piscina, foram determinadas as principais propriedades características da água e, então, estes valores foram comparados com os valores permitidos pela NBR 10818 [4], que discorre sobre as condições exigíveis para que a qualidade da água da piscina garanta a sua utilização de forma segura. Os valores obtidos a partir da amostra também foram comparados com os valores previstos pela Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde [11], que apresenta os padrões aceitáveis para determinação da potabilidade da água.

Seguindo os procedimentos da NBR 14992 [1], são previstos seis tipos de ensaio: retenção de água, variação dimensional, absorção de água por capilaridade, determinação da permeabilidade, resistência à compressão (com corpos de prova cilíndricos) e resistência à tração na flexão (com corpos de prova prismáticos de (25 x 25) mm e comprimento mínimo de 250 mm). O último ensaio (resistência à tração na flexão) não foi realizado seguindo essa norma, pois as prensas habitualmente utilizadas para esse ensaio possuem dispositivos adequados para um comprimento de 285 mm, valor utilizado na moldagem dos corpos de prova.

A NBR 13279 [9] prevê dois tipos de ensaios: resistência à tração na flexão (com corpos de prova prismáticos de (40 x 40 x 160) mm) e resistência à compressão (feito com as metades dos corpos de prova obtidas após o ensaio de resistência à tração na flexão). A Tabela 2 é um resumo de todos os corpos de prova moldados para a realização desses ensaios. Observa-se que são diferentes formatos e dimensões dos corpos de prova e também diferentes idades de referência para o ensaio.

Tabela 2: – Amostras de argamassa ensaiadas

RESUMO DE CORPOS DE PROVA MOLDADOS				
ENSAIO	NORMA	IDADE (DIAS)	FORMA	DIMENSÃO (mm)
Varição dimensional	NBR 14992	7	Prismática	25x25x285
Absorção de água por capilaridade	NBR 14992	28	Cilíndrica	50x100
Permeabilidade	NBR 14992	28	Cúbica	50x50x50
Resistência à compressão	NBR 14992	14	Cilíndrica	50x100
Resistência à tração na flexão	NBR 14992	7	Prismática	25x25x285
Resistência à tração na flexão	NBR 13279	28	Prismática	40x40x160
Resistência à compressão	NBR 13279	28	Prismática	40x40x80

4 Resultados e discussões

4.1 Ensaios da NBR 14992

Os ensaios exigidos pela NBR 14992 [1] foram executados segundo a norma, exceto em alguns casos, comentados especificamente. A proporção de água foi determinada seguindo as especificações dos fabricantes, que são dadas na unidade l/saco, e estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3: Proporções utilizadas

PROPORÇÕES UTILIZADAS			
PRODUTO	QUANTIDADE POR SACO (Kg)	DOSAGEM DE ÁGUA RECOMENDADA (l/saco)	RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS
CR1	20	5,20	0,26
CR2	20	5,20	0,26
R3	5	1,10	0,22
R4	4	0,90	0,23

- Ensaio de retenção de água

Devido à indisponibilidade de um copo cilíndrico nas dimensões requisitadas pela norma, o ensaio foi realizado com um copo de dimensões de 4,5 mm para espessura, 88,0 mm para a altura interna e 80,1 mm para o diâmetro interno. A NBR 14992 [1] determina que o copo deve apresentar diâmetro interno de 42 mm, e que, para argamassas de rejunte tipo II, o diâmetro molhado ao final do ensaio não deve ser superior a 65 mm. Dessa forma, através de uma aproximação linear, determinou-se que, para o copo empregado, o diâmetro molhado máximo aceitável seria de 124 mm.

Verificou-se que as amostras CR1, CR2 e R4 apresentaram excelente retenção de água, enquanto a amostra R3 foi a única que apresentou um diâmetro molhado que se distanciou dos demais. Apesar disso, todas as amostras atenderam ao requisito calculado através de aproximação linear. O resultado do ensaio é apresentado no gráfico da Figura 1.

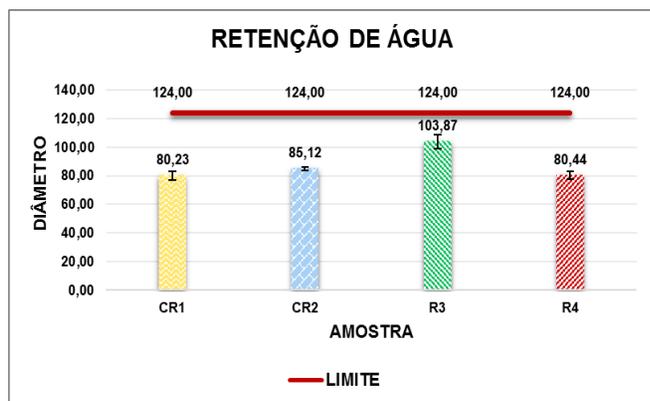


Figura 1: Resultados do ensaio de retenção de água

- Ensaio de variação dimensional

De acordo com a norma, para a idade de 7 dias (168h), a variação dimensional permitida é de 2 mm (em módulo). Dessa forma, verificou-se que, dentre as amostras ensaiadas, a única que não respeitou o limite determinado foi a amostra CR1, que é do tipo AC/AR e registrou uma variação dimensional de -2,041 mm (retração por secagem), conforme observado no gráfico da Figura 2.

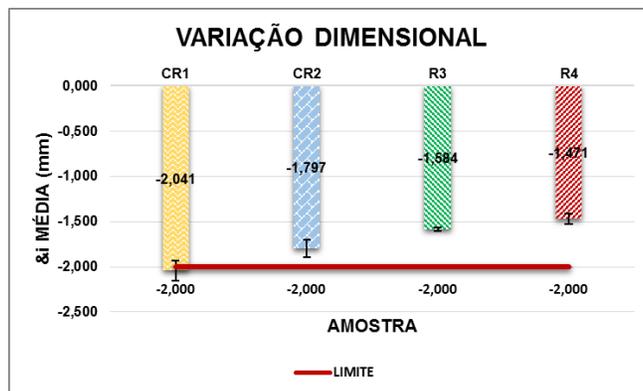


Figura 2: Resultados do ensaio de variação dimensional

- Ensaio de resistência à compressão

Após a execução do ensaio, verificou-se que todas as 4 amostras atendem satisfatoriamente à norma técnica em questão. O destaque fica por conta da amostra R4, que apresentou resistência média de 43,4 MPa, um valor muito superior ao limite, que dificulta a deformação e pode levar à fissuração. Os resultados são apresentados no gráfico da Figura 3.



Figura 3: Resultados do ensaio de resistência à compressão

Além disso, para o referido ensaio, não foi constatada uma possível influência da relação água/materiais secos sobre a resistência à compressão, ou seja, não foi possível estabelecer satisfatoriamente uma tendência de efeito da relação água/materiais seco que pudesse resultar em resistências maiores ou menores.

- Ensaio de absorção de água por capilaridade

Conforme a norma, para argamassas de rejunte tipo II, o limite de absorção de água por capilaridade aos 300 minutos é de 0,3 g/cm². Após a execução do ensaio, constatou-se que a amostra CR1 não atendeu a esse requisito, tendo em vista que registrou uma média de absorção de água por capilaridade de 0,49 g/cm². As demais amostras apresentaram valores inferiores ao limite pré-estabelecido (Figura 4).

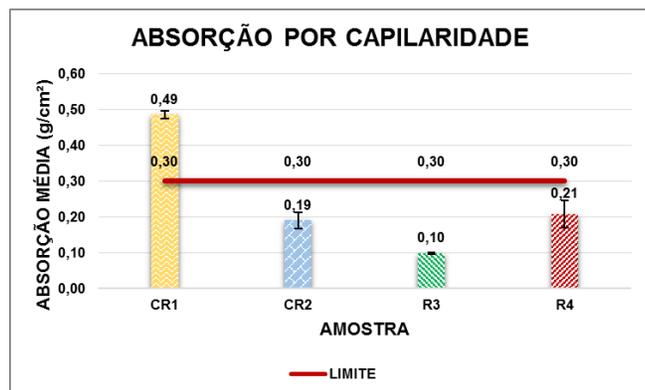


Figura 4: Resultados do ensaio de absorção por capilaridade

- Ensaio de absorção de água por permeabilidade

De acordo com a norma, para argamassas de rejunte tipo II, o limite de absorção de água por permeabilidade aos 240 minutos é de 1,0 cm³. Assim, percebe-se que todas as amostras atenderam ao requisito da norma, sendo que a amostra CR1 apresentou a maior permeabilidade dentre elas. Os resultados estão ilustrados na Figura 5.

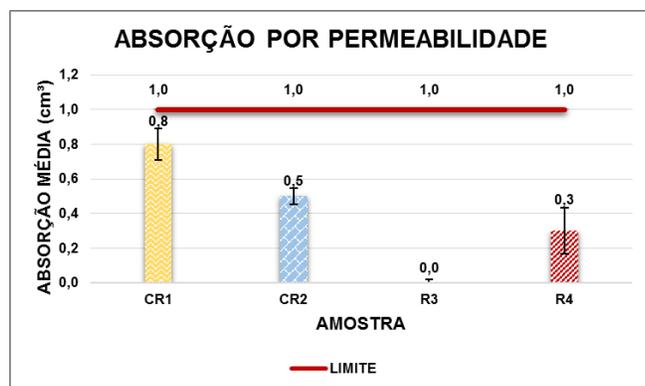


Figura 5: Resultados do ensaio de absorção por permeabilidade

4.2 Ensaios da NBR 13279

Para os ensaios exigidos pela NBR 13279 [9], os traços de água adotados foram os mesmos fornecidos pelos fabricantes e adotados nos ensaios da NBR 14992 [1].

- Ensaio de resistência à tração na flexão

Devido ao fato da NBR 13279 [9] não apresentar limites mínimos para a resistência da argamassa ensaiada, os resultados do ensaio foram comparados com o limite mínimo de resistência à tração na flexão apresentado pela NBR 14992 [1], que é de 3 MPa para argamassas de rejunte do tipo II. Com isso, pode-se afirmar que todas as amostras atenderam de forma satisfatória o limite imposto pela referida norma técnica, conforme observado no gráfico da Figura 6.

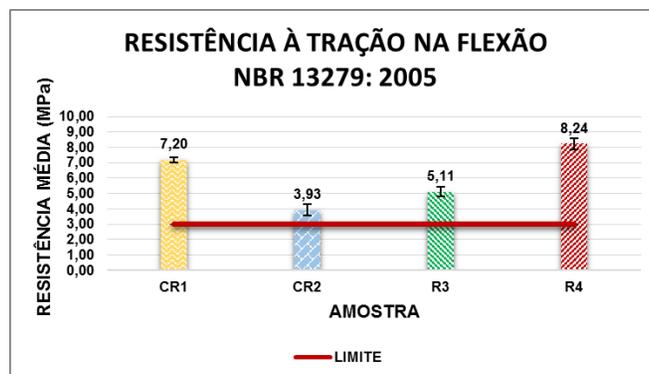


Figura 6: Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão

- Ensaio de resistência à compressão

Ao analisar os dados finais do ensaio, é possível perceber que, assim como no ensaio de resistência à compressão apresentado pela NBR 14992 [1], a amostra R4 apresentou novamente valores muito superiores de resistência em relação às outras. Como a NBR 13279 [9] não apresenta valores mínimos para a resistência da argamassa, os valores obtidos foram comparados com o limite mínimo de resistência à compressão apresentado pela NBR 14992 [1], que é de 10 MPa para argamassas de rejunte do tipo II. Com isso, verifica-se que todas as amostras ensaiadas atenderam ao limite fornecido pela norma (Figura 7).

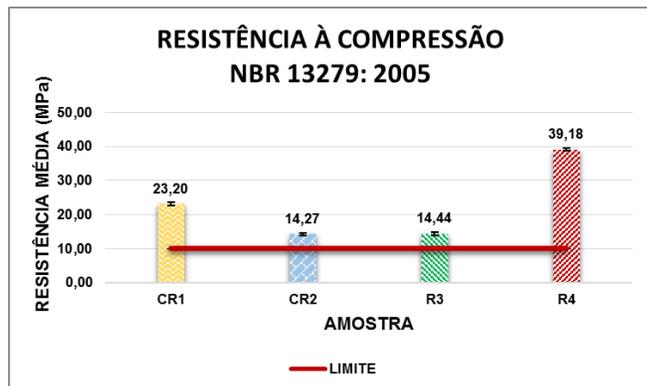


Figura 7: Resultados do ensaio de resistência à compressão

Como forma de comparação, a Figura 8 representa as resistências para os corpos de prova com formatos diferentes (cilíndrico e prismático). Observa-se que para as argamassas colante e de rejunte, não houve diferença significativa nos valores do ensaio, enquanto que para as argamassas de rejunte, as amostras cilíndricas apresentaram valores de resistência à compressão 20% e 13% superiores às prismáticas para as amostras R3 e R4, respectivamente. Com isso, considera-se que há diferença significativa na ruptura entre os formatos distintos dessas duas argamassas.

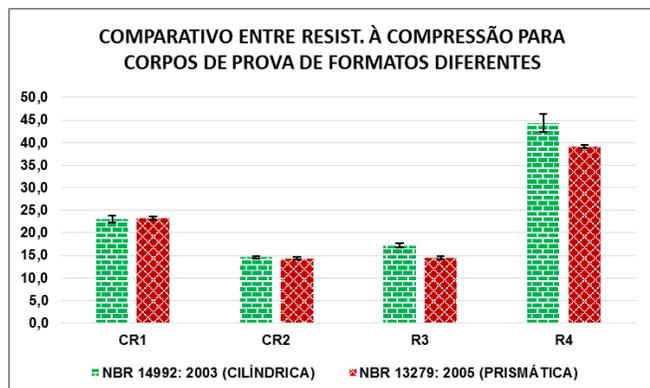


Figura 8: Comparativo entre resistências à compressão para corpos de prova de formatos diferentes

4.3 Análise da água de piscina

Alguns dos principais requisitos listados pela Portaria da Consolidação nº 5 [11] são expostos na Tabela 4.

Tabela 4: Padrões de potabilidade (adaptado de [11])

PADRÕES DE POTABILIDADE	
PARÂMETRO	REQUISITO
pH	$6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$
TURBIDEZ ¹	$\leq 0,5 \text{ uT em } 95\% \text{ das amostras}$
TURBIDEZ ²	$\leq 1,0 \text{ uT em } 95\% \text{ das amostras}$
DUREZA TOTAL	$\leq 500 \text{ mg/l}$
CLORETO	$\leq 250 \text{ mg/l}$
SULFATO	$\leq 250 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$
FERRO	$\leq 0,3 \text{ mg/l}$

Obs. 1 - Considerando tratamento por filtração rápida.

Obs. 2 - Considerando tratamento por filtração lenta

Após análise das amostras de água coletadas de uma piscina onde há histórico de deterioração do rejunte, processo realizado pelo Laboratório de Pesquisas Hidrogeológicas (LPH), os laudos apontaram os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados da análise físico-química da água de piscina

RESULTADOS DA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE PISCINA							
AMOS.	pH	TURB. (UT)	DUREZA TOTAL (mg/l)	CLORET. (mg/l)	CLORO RESID. LIVRE (mg/l)	SULF. (mg/l SO ₄ ²⁻)	FERRO TOTAL (mg/l)
1	7,58	$\leq 0,2$	44,88	149,20	3,65	14,00	$\leq 0,01$
2	7,39	$\leq 0,2$	43,00	193,00	4,04	17,00	$\leq 0,01$
MÉD.	7,49	$\leq 0,2$	43,94	171,10	3,85	15,50	$\leq 0,01$

Ao analisar os dados obtidos, percebe-se que o valor de pH encontrado para as amostras está em conformidade com o permitido pela NBR 10818 [4], ou seja, entre 7,2 e 7,8; porém, a concentração de cloro livre está acima de 3,0 mg/l, limite máximo indicado pela norma. Conforme mencionado anteriormente, o tratamento da água com cloro pode ser uma das causas de degradação em rejuntas de piscina.

Com relação aos requisitos da Portaria de Consolidação nº 5 [11], verifica-se que todos os requisitos foram atendidos pelas amostras. O valor de sulfato ficou abaixo do valor encontrado por Kulisch [8] em ambiente com paredes de concreto

degradadas pela ação de sulfatos (45,35 mg/l), e bem abaixo dos valores citados pelo ACI 318-19 [7], pela NBR 12655 [6] e pelo PWTAG [5] para ocorrência de degradação pela ação de sulfatos.

Marczynski [12] encontrou um valor de sulfato também dentro da faixa tolerada pela Portaria de Consolidação nº 5 [11], para a água de uma piscina particular com rejunte deteriorado. Entretanto, apontou como uma das causas para possível degradação do rejunte em análise a alta presença de cloretos (362,50 mg/l), sendo este também um importante fator de análise, tendo em vista que até mesmo em pequenas quantidades pode representar alta agressividade.

4.4 Histórico da piscina da coleta da água

A coleta das amostras de água para os ensaios, cujos resultados estão apresentados na seção 4.3, ocorreu em uma piscina pública na cidade de Curitiba, que passou por uma etapa de recuperação total do rejunte deteriorado, em janeiro de 2019. Uma das manifestações patológicas observadas no momento dos reparos pode ser vista na imagem da Figura 9. Além da presença das manchas, constatou-se também parte do rejunte em estado de deterioração e a ausência do revestimento em um dos trechos da piscina.



Figura 9: Presença de manchas no rejunte

A argamassa utilizada na recuperação da piscina foi a R3, um dos motivos pelos quais ela foi escolhida para a realização dos ensaios e posteriormente analisada. A piscina passa por manutenções frequentes, provavelmente devido ao fato de ser pública e receber um grande número de pessoas frequentemente, o que implica em um tratamento bastante intenso. Ressalta-se também a hipótese de que o aquecimento da água tende a contribuir para a aceleração da deterioração do

rejunte, tendo em vista que o calor atua como um catalisador de reações químicas.

4.5 Ensaio da NBR 13583

Com relação à NBR 13583 [10], novamente, foram adotados os traços de água especificados por cada fabricante nas embalagens para a moldagem das amostras.

- Ensaio de resistência ao ataque por sulfato

Após a obtenção das expansões individuais e média de cada amostra, efetuou-se o cálculo da expansão resultante de cada amostra, que, segundo a NBR 13583 [10], é dada pela subtração dos valores obtidos da expansão média das barras expostas à água saturada com cal pelos valores obtidos da expansão média das barras expostas à solução agressiva, ambas expressas em porcentagem. O gráfico da Figura 10 apresenta um comparativo da evolução da expansão resultante das amostras ao longo da etapa de cura final do ensaio, do início até os 42 dias.

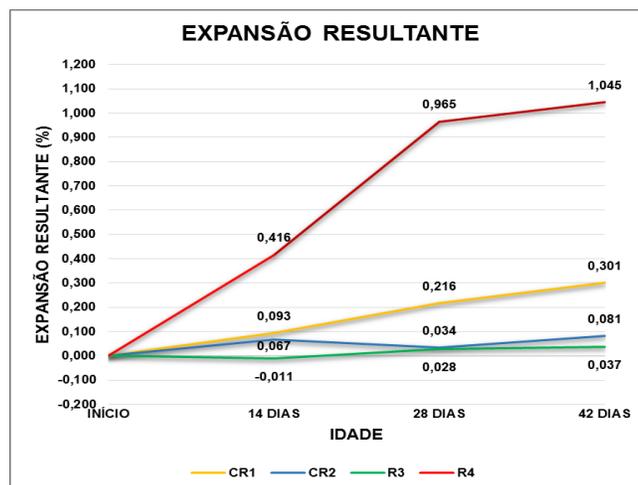


Figura 10: Comparativo da evolução da expansão resultante ao longo do ensaio de ataque por sulfato

Verifica-se, pela análise do gráfico, que a amostra R4 possui resistência ao ataque por sulfatos bastante inferior às outras amostras ensaiadas. Para a amostra CR1, sua expansão resultante aos 42 dias foi aproximadamente 3 vezes menor que a apresentada pela amostra R4, porém cerca de 8 vezes maior que a apresentada pela amostra R3. Isso mostra que, com relação às amostras CR2 e R3,

a amostra CR1 também apresenta desvantagem no aspecto resistência química.

A NBR 16697 [13] propõe que, para que a matriz cimentícia seja considerada resistente, a expansão resultante, determinada de acordo com os procedimentos da NBR 13583 [10], seja menor ou igual a 0,030%. Seguindo esse valor proposto, que também é adotado por Marciano [14], argamassas que apresentem valores inferiores seriam consideradas resistentes ao ataque por sulfato. Ao observar os valores de expansão média aos 42 dias para as amostras ensaiadas, percebe-se que todas as amostras ficaram acima do limite proposto, ou seja, não poderiam ser consideradas resistentes ao ataque por sulfato. Entretanto, vale ressaltar que a amostra R3 ficou muito próxima do valor proposto. A Figura 11 apresenta a comparação entre os valores apresentados pelas amostras e tal limite proposto pela norma técnica.

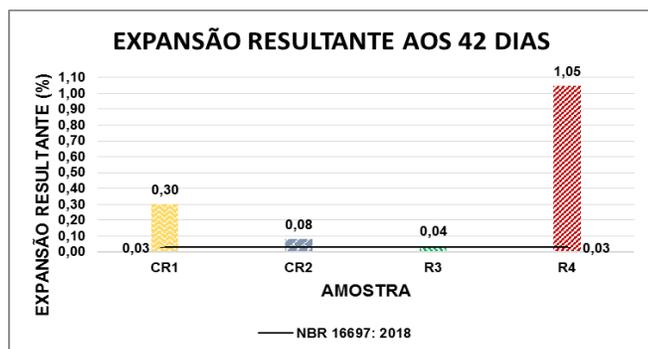


Figura 11: Comparação com a NBR 16697

4.6 Compilação de resultados

Nesta seção é apresentada uma compilação de todos os resultados obtidos que envolvem as quatro amostras de argamassas estudadas, a fim de facilitar comparações entre elas (Tabela 6).

A amostra CR2, que apresentou resultados satisfatórios em quase todos os ensaios, possui também um histórico de bom desempenho em campo. Tal amostra foi utilizada como rejunte, há dois anos, em uma piscina residencial, e se encontra em boas condições aparentes.

Ressalta-se ainda que o ensaio que mais apresentou resultados insatisfatórios para as amostras de argamassa testadas foi o ensaio de ataque por sulfato. Seguindo o limite estabelecido pela NBR 16697 [13], de uma expansão máxima de 0,030%, todas as amostras acabaram extrapolando esse valor, sendo, portanto, reprovadas sob a vista desse critério de resistência adotado.

Tabela 6: Compilação de resultados - Argamassas

COMPILAÇÃO DE RESULTADOS - ARGAMASSAS								
Amostra	NBR 12379 (2005)		NBR 14992 (2003)			NBR 13583 (2014)		
	Resistência à Tração na Flexão	Resistência à Compressão	Resistência à Compressão	Retenção de água	Varição Dimensional	Absorção de Água por Capilaridade	Absorção de Água por Permeabilidade	Ataque por Sulfato
	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	D médio (mm)	Varição (mm)	Absorção (g/cm ²)	Absorção (cm ²)	Expansão (%)
Limite	≥ 3,00	≥ 10,00	---	≤ 124,00	≤ 2,00 	≤ 0,30	≤ 1,00	≤ 0,03
CR1	7,20	23,20	23,08	80,23	-2,041	0,49	0,8	0,301
CR2	3,93	14,27	14,57	85,12	-1,797	0,19	0,5	0,081
R3	5,11	14,44	17,17	103,87	-1,584	0,10	0,0	0,037
R4	8,24	39,18	44,33	80,44	-1,471	0,21	0,3	1,045

5 Conclusões

Com relação à presença do sulfato, o valor encontrado nos ensaios da água é de 15,50 mg/l de SO_4^{2-} , ou seja, inferior às fontes mencionadas ao longo deste trabalho, portanto, não se enquadraria em uma situação de ambiente considerado como agressivo em nenhum nível. Entretanto, vale ressaltar que o ataque por sulfato pode causar expansão e fissuração na matriz cimentícia e, ao fissurar, a matriz acaba por sofrer um aumento de sua permeabilidade, o que facilita a entrada de água em seu interior e acelera o processo de deterioração do material. Assim, apesar da taxa de sulfato ser considerada baixa em relação às fontes da literatura, não se pode excluí-la como possível participante no processo de deterioração da argamassa de rejunte da piscina em análise.

Quanto ao comparativo entre as metodologias de ensaio de resistência, considera-se que a ruptura de cilindros requer mais cuidados no ensaio, pois a centralização inadequada dos corpos de prova pode gerar resultados errôneos, tais como lascamento de borda dos CP's e rupturas em locais adversos. Deste modo, embora os resultados indiquem uma diferença irrelevante entre os formatos para as amostras CR1 e CR2, considera-se preferível a utilização da NBR 13279 [9] para a realização dos ensaios de resistência mecânica, pois emprega corpos de prova prismáticos.

Destaca-se, no contexto de análise da influência da porosidade na resistência mecânica e na durabilidade das argamassas, a amostra R3, na qual a menor relação água/materiais secos (0,22) proporcionou a menor taxa de absorção (0,10 g/cm² para absorção por capilaridade e valores desprezíveis para absorção por permeabilidade) dentre as amostras ensaiadas. Para as demais amostras, esse aspecto não teve relação direta com os resultados obtidos.

A argamassa R3 apresentou os melhores resultados para utilização como argamassa de rejunte para piscinas, considerando que atende às principais especificações trazidas pelas normas: resistência à compressão e à tração em valores superiores aos limites mínimos, um valor de expansibilidade muito próximo ao indicado como limite quanto ao ataque por sulfatos e baixos valores de permeabilidade e absorção. Esses fatores são

importantes para a característica de estanqueidade que o conjunto de rejuntamento deve apresentar.

A argamassa CR2 apresentou resultados tão satisfatórios quanto a R3, excetuando-se o valor de expansibilidade que é em torno de 170% superior ao limite máximo indicado para resistir ao ataque por sulfato, enquanto que as argamassas CR1 e R4 ultrapassaram os valores limites em alguns ensaios (absorção de água por capilaridade e variação dimensional para a argamassa CR1), configurando-se, portanto, como opções não tão interessantes para aplicação em piscinas. Além disso, a argamassa R4 apresentou valores de resistência à compressão e tração muito superiores ao necessário (em torno de 4 vezes superior para compressão e 3 vezes superior para tração), o que pode não ser desejável para argamassas de rejunte, pois dificulta a deformação e pode levar à fissuração.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14992: A.R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10339: Piscina – Projeto, execução e manutenção. Rio de Janeiro, 2018.
- [3] MARANHÃO, F. L.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. J. Influência do tipo de cimento nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas hidrofugadas com produtos à base de silicone. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2, 2007, Lisboa, Anais... Lisboa: APFAC, 2007.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10818: Qualidade de água de piscina. Rio de Janeiro, 2016.
- [5] POOL WATER TREATMENT ADVISORY GROUP. Sulphate attack technical notes. Disponível em <<https://www.pwttag.org/sulphate-attack-february-2011/>>. Acesso em 04 nov. 2019.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

[7] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete. Farmington Hills, 2019.

[8] KULISCH, D. Ataque por sulfatos em estruturas de concreto. Trabalho de graduação (bacharelado em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13583: Cimento Portland – Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Rio de Janeiro, 2014.

[11] BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 set. 2017. Anexo XX. Disponível em: <<https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n--5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2019.

[12] MARCZYNSKI, D. Desagregação precoce de rejunte em piscina: Estudo de caso em Curitiba. Trabalho de graduação (bacharelado em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

[14] MARCIANO, Z. A. N. Desenvolvimento de um método acelerado para avaliação da resistência de argamassas de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.