Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2018

Abril de 2018

REPARO DE FISSURAS POR CONCRETO AUTO-CICATRIZANTE – ESTUDO DA TÉCNICA

REPAIR OF CRACKS BY SELF HEALING CONCRETE – TECHNICAL STUDY

REPARACIÓN DE LAS GRIETAS POR EL HORMIGÓN AUTOÁTICO – ESTUDIO DE LA TECNICA

F. PACHECO
Doutoranda em Eng. Civil
UNISINOS
Rio Grande do Sul; Brasil
fernandapache@unisinos.br

R. E ORLANDIN
Eng. Civil
Palazzo Engenharia
Rio Grande do Sul; Brasil
o_rna@hotmail.com

N. A. TOMA
Graduanda em Eng. Civil
UNISINOS
Rio Grande do Sul; Brasil
natalyat@unisinos.br

B. F. TUTIKIAN
Doutor em Eng. Civil
UNISINOS
Rio Grande so Sul; Brasil
bftutikian@unisinos.br

R.CHRIST
Doutorando em Eng. Civil
UNISINOS
Rio Grande do Sul; Brasil
rchrist@unisinos.br

RESUMO

O desempenho a longo prazo das estruturas se tornou vital para as economias das nações. As estruturas de concreto geralmente demonstram alguma capacidade de se auto cicatrizar ou selar microfissuras recém-formadas. Isto se deve à presença de partículas excessivas de cimento não hidratado, as quais sofrem hidratação secundária ou tardia reacionadas ao ingresso de água pelas fissuras. Todavia, muitas vezes essa hidratação secundária não é suficiente para barrar a entrada de agentes deletérios nas estruturas. Como alternativa para evitar o surgimento de manifestações patológicas e os danos causados pela entrada de agentes agressores no concreto via microfissuras, diversos estudos foram e estão sendo realizados para desenvolver um novo tipo de concreto auto cicatrizante, no qual bactérias mediam a produção de minerais que rapidamente selam as fissuras que se formam no decorrer da vida útil do concreto. Este estudo tem por objetivo apresentar o desenvolvimento do concreto auto cicatrizante com técnicas diversas, dentre estas, as citadas acima. O concreto desenvolvido traz muitas vantagens e é de extrema importância, porém ainda existem barreiras a serem transpostas, através de estudos que possibilitem sua aplicação.
Palavras-chave: Auto cicatrizante. Agentes. Bioconcreto. Bactéria. Calcita.

ABSTRACT

The long-term performance of structures has become vital to the economies of nations. Concrete structures often demonstrate some ability to self-heal or seal newly formed microcracks. This is due to the presence of excessive particles of non-hydrated cement, which undergo secondary or delayed hydration due to the ingress of water through the cracks. However, often this secondary hydration is not sufficient to block the entry of deleterious agents into the structures. As an alternative to avoid the appearance of pathological manifestations and the damages caused by the entry of aggressive agents in the concrete via microcracks, several and several studies have been and are being carried out to develop a new type of self-healing concrete, in which bacteria measured the production of minerals Which quickly seal the cracks that form over the lifetime of the concrete. Initial results show that the addition of specific organic mineral compounds, together with alkalophilic bacterial pores, as self-healing agents, produce calcite fragments that can potentially seal micro-even larger-sized cracks. This study aims to review the development of self-healing concrete based on bacterial, introducing the proposed healing system. Different stages of development are

discussed and some recommendations for more detailed and in-depth research are suggested. The concrete developed brings many advantages and is extremely important, but there are still barriers that must be overcome and for this, this innovative material must be studied to enable the application of this concrete.
Keywords: Self-healing. Agents. Bioconcrete. Bacteria. Calcite.

1 INTRODUÇÃO

A união do concreto com o aço proporciona às estruturas a capacidade de resistir aos principais esforços transmitidos pelas cargas: tração e compressão, que se somam a inúmeras outras propriedades do material (MEHTA, MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2015). Diversos são os mecanismos que provocam a deterioração das estruturas de concreto armado, que variam, tanto pelo seu ambiente de inserção (GJORV, 2014), quanto em relação às suas propriedades intrínsecas e extrínsecas (SOUZA; RIPPER, 1998).

Inúmeras pesquisas já classificaram a agressão em relação as zonas de inserção das estruturas, No entanto, nem sempre é clara a relação entre a exposição aos agentes deletérios e a resposta das construções, impactando na imprecisão de sua expectativa durável.

Um dos sintomas que afeta a durabilidade e o estado de conservação das estruturas de concreto é o surgimento de fissuras. Sua ocorrência pode ser relacionada a fatores diversos, como retrações, fenômenos de gelo e degelo, forças mecânicas de compressão-tração, corrosão das armaduras no interior do concreto, entre outros. (JONKERS e SCHLANGEN, 2007). Ainda que as microfissuras estruturais possam ter espessuras reduzidas e irrelevantes em relação a dimensão dos elementos de concreto, é através destes pequenos vasos que pode ocorrer o ingresso dos agentes degradantes de danos às estruturas (INGENIA, 2011).

Sobre as fissuras, se diz que seu surgimento pode ocorrer no concreto ainda em estado frágil ou fresco, podendo estas se propagarem facilmente, diminuindo a resistência do concreto e consequentemente a segurança da estrutura. (ZAI e MURTHY, 2015). De modo a amenizar os danos causados pela fissuração nos concretos, são desenvolvidas técnicas para reparos e cicatrização destas fissuras. Desta forma, o objetivo deste estudo é a realização de um referencial teórico, considerando quais os principais mecanismos de auto-recuperação, ou auto-cicatrização dos concretos , expondo as lacunas existentes no método e seus próximos pontos de evolução.

2. OBJETIVOS

Identificar as principais técnicas de auto regeneração das estruturas, suas vantagens, desvantagens, métodos de validaçao, citando as principais lacunas nos estudos até o momento desenvolvidos. Para tal, foi desenvolvida pesquisa científica, cujos resultados e conclusões são apresentados a seguir.

3. RESULTADOS

3.1 Durabilidade dos concretos

De modo simplificado, a durabilidade é a preservação de um elemento, o que poderá contar com manutenções preventivas programadas, no entanto, sem que sejam necessárias grandes intervenções (GJOVR, 2014). Entende-se assim, que a durabilidade se relaciona diretamente com o impacto e a viabilidade financeira de um produto, ou edificações, no cenário da construção civil, considerando ainda o impacto que há na esfera da sustentabilidade, pela utilização de recursos e pela geração de resíduos de construção e demolição.Li e Herbert (2012) concordam com o apresentado, informando ainda que em países desenvolvidos, como Estados Unidos, Coréia do Sul e Alemanha, chegou-se a perceber recentemente maiores gastos envolvendo recuperação e reabilitação das estruturas, superando os investimentos com novas construções.

De acordo com Krishnapriyaa, Venkatesh, Arulraj (2015), são despendidos gastos com a recuperação de fissuras no concreto, sendo que para tal, existem diversas técnicas desenvolvidas até o momento. No entanto, conforme os autores, algumas destas técnicas de reparo envolvem a utilização de químicos pesados, de elevado custo, e que podem conduzir a problemas de saúde.

3.2 Fissuração nas estruturas

Cabe destacar, que não somente a ocorrência de fissuras se configura como um fato indesejado nos elementos de concreto armado, mas ainda, estas podem culminar no ingresso facilitado de agentes de deterioração das estruturas, permitindo a ação em profundidade do dióxido de carbono e dos íons cloreto. Kitsutaka e Nakamura (1999) destacam a formação de fissuras, por exemplo, por corrosão, como um mecanismo catalisador da deterioração mais intensa, podendo acarretar na intensidade da corrosão, na perda de seção do aço, e consequente redução da capacidade portante do elemento estrutural.

Em termos de controle de fissuração, apresenta-se na norma NBR 6118 (ABNT, 2014) limites para fissuração do concreto simples, armado e protendido. Expõe-se na Tabela 1 os valores limites de fissuração, excluindo-se as estruturas de concreto protendido e considerando ainda, as diferentes classes de agressividade ambiental propostas nesta norma.

Tabela 1: Controle de fissuração de concreto simples e armado

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAAI a CAAV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS- W- wk ≤ 0,4mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS- W- wk ≤ 0,3mm	
	CAA IV	ELS- W- wk ≤ 0,2mm	
A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com ap= 50mm			

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014.

Conforme verifica-se, os limites de aceitação de fissuras são reduzidos, permitindo valores de no máximo 0,4mm, sendo que o limite estabelecido é menor quando há maior concentração de mecanismos de deterioração, ou seja, quando se aumenta a classe de agressividade no qual a estrutura será inserida. Jonkers (2011) ressalta que mesmo estas fissuras reduzidas podem, diante de vasta ocorrência, aumentar a permeabilidade do concreto e proporcionar maior ingresso dos elementos deflagrantes de danos. Percebe-se assim, coerência entre o apontado pela norma e a bibliografia.

Considerando os danos das estruturas, e seu impacto financeiro e ambiental já citado, atualmente, tem-se estudado a ação de agentes que possam atuar auto-cicatrizando o concreto, ou seja, possuindo a capacidade de selar ou vedar as fissuras que possam ter ocorrido nos elementos de concreto (Lala, Hussain, Akhtar, 2014). Espera-se assim, que danos patológicos possam ser mitigados ou pausados.

3.3 Concreto auto-regenerante

Ao concreto que tem a capacidade de selar suas fissuras, dá-se o nome de auto-cicatrizante. A Rooj et al (2013) conceitua auto cicatrização como “qualquer processo realizado pelo próprio material que envolva a recuperação e a melhoria na performance de um material que tenha sido danificado por algum processo anteriormente”. Flores et al (2015) destacam que há um caminho a ser trilhado com o emprego destes materiais, proporcionando maior sustentabilidade as estruturas de concreto armado.

Algumas linhas de pesquisa defendem a ideia de que as próprias partículas de cimento que ainda não foram totalmente hidratadas pudessem se hidratar quando surgem fissuras e há incidência de água. (JONKERS; SCHLANGEN, 2007; AFIFUDIN et al, 2011). Porém, os estudos apontaram para uma reação única e o consumo das partículas anidras sem que se tenha uma estimativa precisa de sua durabilidade e eficiência. Assim, agindo em prol da segurança, pode-se aumentar demasiadamente o consumo de cimento, encarecendo o custo do concreto e com efeito negativo ao meio ambiente, considerando seu potencial de deterioração, sem a obtenção de ganhos relevantes. (JONKERS e SCHLANGEN, 2007).

Outros pesquisadores analisam que as próprias pozolanas podem exercer tal função, ao serem inseridas nos concretos, sendo que a sua incorporação tem o potencial de reduzir os poros e proporcionar as reações

secundárias de hidratação, que podem atuar do mesmo modo com a autocicatrização, destacando, no entanto, que nem sempre há disponibilidade de uso destes materiais (AFIFUDIN et al, 2011).

Considerando tais desvantagens, um novo mecanismo de auto regeneração vem sendo estudado. Este mecanismo é acionado quando bactérias envoltas no concreto convertem algum tipo de nutriente em calcita, promovendo reações secundárias de hidratação, de modo análogo as partículas de cimento anidro.

Os autores Krishnapriya, Venkatesh, Arulraj (2015) destacam que o método de remediação por bactéria apresenta-se a frente de outros métodos por ser menos nocivo ao meio, de custos mais reduzidos e vasto potencial durável. Alshalif et al (2016) informam que o desafio atual é vincular a inovação a materiais naturais, reduzindo o impacto no desenvolvimento de novos produtos, proporcionando benefícios ainda a durabilidade do material.

Ao avaliarem a técnica, Alghamri, Kannelloupos, Al-Tabba (2016) afirmam que o ciclo biológico de recuperação reduz o impacto relacionado a substituição parcial ou total das estruturas, a minimização do consumo do cimento e seu potencial de danos ao meio. Tais autores dividem o processo de auto-cicatrização em dois grandes grupos, considerando as opções citadas anteriormente:

- Autogênico: Este mecanismo consiste na utilização dos componentes que já são utilizados pelo concreto, como o cimento não hidratado e as substituições pozolânicas;
- Autônomo: Neste método, materiais não convencionalmente utilizados pelo concreto são adicionados com o objetivo de ampliar sua capacidade autocicatrizante, como o uso de silicato de cálcio, agentes expansivos e bactérias.

Neville (2015), complementa, afirmando que o mecanismo autogênico pode ocorrer pela formação de carbonato de cálcio ou hidróxido de cálcio, pela sedimentação das partículas, ou pela hidratação continuada das partículas de cimento da matriz. É através da formação desta película que se tem uma recuperação do elemento estrutural.

3.3.1 Auto-regeneração autógena

É um fenômeno bastante conhecido, o seu processo ocorre de forma natural, podendo ocorrer tanto em argamassas, como em concreto. Em argamassas, a presença de água, mesmo sob a forma de umidade, é o responsável por mover o átomo até as superfícies das microfissuras e recristalizar para formar os compotos de cálcio (NARDI et al, 2017). Hilloulin (2014), destaca que a auto-regeneração autógena ocorre deivdo a dois motivos principais: hidratação das partículas não hidratadas de cimento ou de minerais de clínquer através do ingresso da água na parte fissurada e a dissolução e consequente carbonatação do hidróxido de cálcio devido a reação que ocorre entre o cálcio presente na matriz com o dióxido de carbono dissolvido na água.

Porém, a cura autógena só é eficaz para pequenas rachaduras, na ordem de 5 µm a 300 µm. O mecanismo responsável pela cicatrização depende da idade de cura do concreto e o tempo de fissuração. Com o alto teor de partículas não hidtaras presentes, nas idades iniciais a hidratação ocorre de modo contínua. Nas idades avançadas, a preciptação de carbonato de cálcio se torna o mecanismo responsável (TITTLELBOOM e BELIE, 2013).

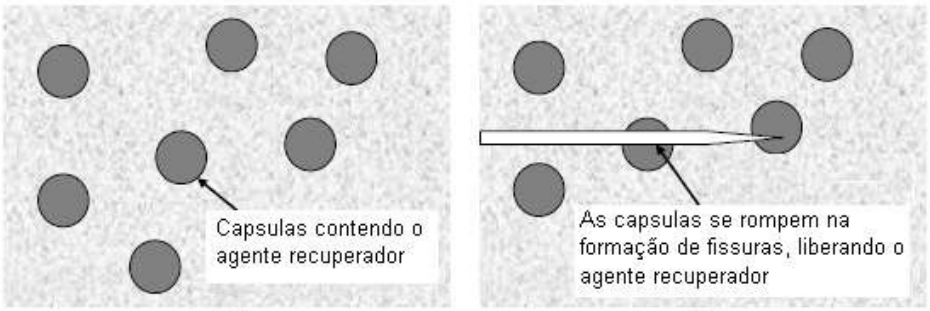
3.3.2 Auto-regeneração por encapsulamento químico

Como exemplo da autocicatrização por encapsulamento, Alghamri, Kannelloupos, Al-Tabbaa (2016) apresentam a solução de encapsulamento de silicato de sódio em agregados leves para serem inseridos em misturas de concreto, como uma maneira de proporcionar menor absorção capilar de água, promovendo maior quantidade de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) nos concretos. Destaca-se que os estudos conduzidos pelos autores evidenciaram que já há impacto na recuperação das estruturas nas medições verificadas aos 28 dias.

3.3.3 Auto-regeneração por encapsulamento de bactérias

Ainda em relação ao método de encapsulamento das bactérias no concreto, autores como Wiktor e Jonkers (2011) optam pela inserção das bactérias envoltas em entorno de proteção, como nos agregados graúdos de argila expandida (Figura 1). Tais materiais são saturados sobre vácuo, primeiramente em solução de lactato de cálcio, sendo na sequência realizada a suspensão de poros bacterianos. Anteriormente a sua aplicação, tais agregados leves são submetidos a processos específicos de secagem e saturação. A função do lactato de cálcio é prover alimentação para a bactéria sem afetar o concreto.De acordo com Jonkers (2011), o experimento ocorre pela substituição de agregados de dimensões reduzidas pelos agentes cicatrizantes encapsulados, com concentração próxima de 15 kg/m³ de concreto.

Figura 1: Mecanismo de ruptura no encapsulamento das bactérias



Fonte: Jonkers , 2011.

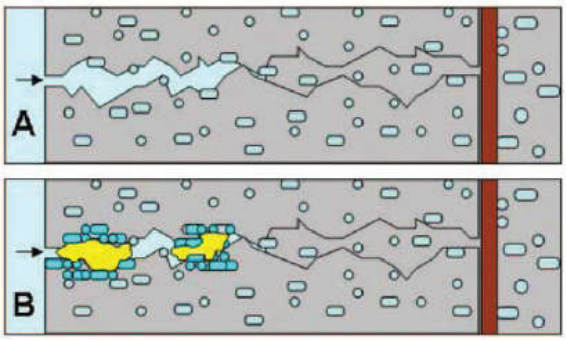
Por mais que o encapsulamento possa ser vantajoso para assegurar a eficácia do processo, a substituição de agregados por agregados de argila expandida acarreta em uma fragilização do concreto, uma vez que sua menor massa específica acarreta na diminuição de sua resistência mecânica à compressão.

Segundo Zwaag (2007), embora este fenômeno de auto cicatrização tenha sido reconhecido nos materiais ao longo da história, especialmente nos sistemas biológicos, foi apenas recentemente que a propriedade de auto cicatrização tem passado a ser avaliada para materiais, visando a durabilidade das estruturas e ampliação de sua vida útil.

Em concordância com Luo, Quian, Li (2015) o desafio reside na sobrevivência destes organismos nas condições severas proporcionadas pelo concreto e seu ambiente de inserção.

Seifan, Samani, Berenjian (2016) consideram que a precipitação mineral através das bactérias é um fenômeno em que biominerais são formados através da interação entre produtos metabólicos gerados pelos próprios organismos e seu ambiente de inserção. Para sua ocorrência, os autores complementam que deve haver presença de água ou de umidade. Através da Figura 2, Arnold (2011) simplifica o mecanismo de atuação do bioconcreto. Conforme o autor, inicialmente (a) ocorre o ingresso de água no interior das microfissuras do concreto. Na sequência, bactérias selam as fissuras através da produção de calcário, garantindo a proteção as armaduras em seu interior.

Figura 2: Mecanismo de atuação do concreto autocicatrizante



Fonte: Arnold, 2011.

Wang et al (2017) afirmam que a bactéria capaz de precipitar o carbonato é adicionada a mistura do concreto juntamente com nutrientes em seu estado fresco. Diante da formação de microfissura, espera-se que tais bactérias sejam capazes de precipitar o carbonato de cálcio, sendo então, seladas as fissuras presentes no material.

A penetração de água pelas fissuras não somente dissolveria as partículas de calcita ou carbonato de cálcio (CaCO3) presentes na matriz da argamassa, mas também reagiria junto com o dióxido de carbono atmosférico, o óxido de cálcio e o hidróxido de cálcio de acordo com as seguintes reações (ZAI; MURTHY, 2015)

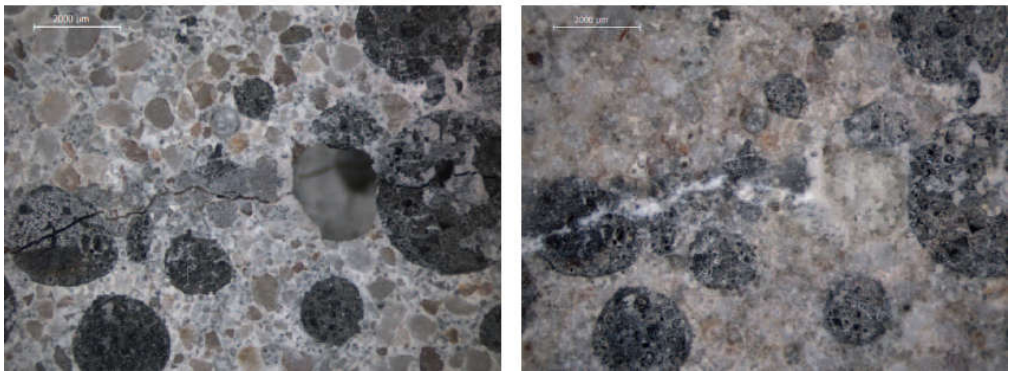
$$CaO + H2O \rightarrow Ca(OH)2 \quad (1)$$

$$Ca(OH)2 + CO2 \rightarrow CaCO3 + H2O \quad (2)$$

A entrada de água torna ativa a bactéria dormente. Na sequência, camadas densas de carbonato de cálcio são produzidas por conversão bacteriana e um composto mineral precursor incorporado na matriz do concreto, sendo este o responsável pela selagem das fissuras. Anneza et al (2016) não só afirmam que a utilização de bactérias pode ser favorável a durabilidade dos materiais gerados, como citam ainda que os materiais constituem uma tecnologia para acréscimo da resistência à compressão dos concretos sem que seja necessária uma maior adição de cimento, ou sua substituição por materiais pozolânicos. Há ainda, constatações de que a utilização de tais materiais possa influenciar na absorção de água dos concretos, influenciando assim, seu comportamento durável mediante agentes de deterioração (ALSHALIF et al, 2016).

A Figura 3 apresenta o estudo de um concreto com fissuração e a ação do agente auto-cicatrizante, atuando na selagem da fissura pela precipitação do carbonato de cálcio, evidenciando o potencial de uso da técnica.

Figura 3: Verificação da atuação das bactérias em traço de concreto



Fonte: ALSHALIF et al, 2016

Uma das barreiras ao desenvolvimento deste estudo é a escolha das bactérias a serem utilizadas. Segundo Zai e Murthy (2015), Bacillus é um tipo de bactéria cultivada em laboratório, que mediante meios adequados e a presença de uma fonte de cálcio, pode produzir calcita. Ainda segundo os autores, o formato de bastão de um membro desse grupo permite que este se proteja de condições extremas em seu entorno, destacando o potencial do material de ser inserido no concreto sem danos a sua sobrevivência. Wang et al (2017) através de análises biológicas de condições de sobrevivência, provaram que a bactéria bacillus sphaericus LMG 2257 é apropriada para uso na composição de concretos auto-cicatrizantes.

Autores como Anneza et al (2016) optam pela substituição parcial da água de amassamento por solução contendo as bactérias, em oposição ao encapsulamento. Nestes casos, verificou-se que esta substituição conduz ao acréscimo da resistência à compressão do concreto.

3.4 Lacunas identificadas no estudo da técnica

Uma das necessidades verificadas ao estudar-se a técnica reside na minimização dos gastos na produção dos agentes cicatrizantes. Para viabilizar seu emprego em larga escala e em estruturas de dimensões relevantes, deve-se reduzir perdas, contar com dimensionamento preciso e se possível, reduzir o uso de

processos complexos, aquecimentos e resfriamentos. Ainda, ao avaliar os danos no desempenho do concreto, estes agentes limitam a possibilidade de aplicação em construções nas quais a estanqueidade à água e altas resistências à compressão são necessárias. Por consequência, o desenvolvimento de um agente cicatrizante mais eficiente e econômico poderia ampliar o alcance de potenciais aplicações. (ADAK, 2015).

A maior parte dos custos extras provém do lactato de cálcio que é bastante caro e é empregado como nutriente para as bactérias. O processo de encapsulamento das bactérias e dos nutrientes é também altamente custoso pois envolve uma técnica a vácuo. (ADAK, 2015). Ao considerar os outros mecanismos disponíveis, também há custos relacionados a compra dos insumos (cimentos e pozolanas) ou das soluções químicas.

Flores et al (2015) expõem a necessidade de evoluir para o uso real das estruturas de concreto, sendo necessário observar-se o período que pode ocorrer até a formação das fissuras e ainda, seu ambiente de inserção e condição para que ocorra sua autocicatrização. Esta abordagem já foi apresentada por Tittelboom et al (2016), que compararam em seu estudo a utilização de dois mecanismos de auto-cicatrização em análises em larga escala laboratorial. Os autores avaliaram o encapsulamento de poliuretano como uma das opções, sendo a outra opção a incorporação de adição de polímeros superabsorventes no concreto, obtendo como resultado que ambas as técnicas podem ser utilizadas em larga escala.

Seifan, Samani e Brenjian (2016) destacam três pontos que urgem de melhoramentos para continuidade nos estudos de concretos autoregenerantes, sendo:
Realização de simulação numérica para verificação da redução de custo e estimativa da vida do concreto com a utilização de técnicas de auto regeneração;
Verificação da vida inativa da bactéria em estruturas expostas ao tempo e agressões corriqueiras em estruturas de concreto armado;
Aderência efetiva entre a área recuperada e a estrutura de concreto existente.

Ainda, Adak (2015) aponta a necessidade de verificar o cumprimento da vida útil das estruturas de concreto armado, e a viabilidade de ocorrência de múltiplos eventos de cicatrização. Até o momento, a selagem total de fissuras é atingida para espessuras de até 0.5 mm, então, identifica-se concomitantemente a análise de viabilidade de selagem de fissuras de maiores dimensões. Li e Herbert (2012), sintetizaram as técnicas disponíveis até o momento de autocicatrização, indicando seu estágio atual de desenvolvimento e as lacunas existentes em tais métods, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Conhecimento adquirido ao longo do desenvolvimento de pesquisas

Característica	Encapsulamento químico	Encapsulamento de bactéria	Misturas minerais	Químico em tubos de vidro	Cura intrínseca com controle de espessura de fissura
Validade	Potencial de longa vida útil, dependente do químico encapsulado	Testes apontaram esporos que resistem por 6 meses	Longa vida útil, considerando que as pozolanas permaneçam sem atividade e não hidratadas	Potencial de longa vida, dependendo do agente químico	Longa vida útil sem a utilização de aditivos nos compósitos cimentícios avançados
Penetração	Há, capsulas podem ser dispersas no concreto	Há, capsulas contendo concreto podem ser dispersas na mistura	Há, pois os componentes minerais se dispersam uniformemente no concreto	Não há, pois os tubos devem ser dispostos em locais estratégicos para formação de fissuras	Há, pois o controle intrínseco ocorre em qualquer ponto da estrutura ou orientação das fissuras

Qualidade	Há necessidade de verificar as propriedades mecânicas, auto regeneração deve ser investigadas	Verificação completa da autoregeneração, pouca recuperação mecânica	Verificação completa da autoregeneração, recuperação mecânica não avaliada	Autoregeneração e recuperação mecânica, mas não 100% eficiente	Autoregeneração e recuperação mecânica, 100% eficiente
Confiabilidade	Não há dados suficientes para atestar sua confiabilidade	Não há dados suficientes para atestar sua confiabilidade	Não há dados suficientes para atestar sua confiabilidade	Não há dados suficientes para atestar sua confiabilidade	Não há dados suficientes para atestar sua confiabilidade
Versatilidade	Há, o mecanismo de recuperação é independente das condições externas	Atualmente ainda depende da presença de água contínua	Atualmente ainda depende da presença de água contínua	Há, o mecanismo de recuperação é independente das condições externas	Há, verificou-se viabilidade em condições diversas de exposição
Repetitividade	Nenhum estudo foi conduzido avaliando mais de um ciclo de carga	Nenhum estudo foi conduzido avaliando mais de um ciclo de carga	Nenhum estudo foi conduzido avaliando mais de um ciclo de carga	Não pode ser repetido	Verificada recuperação parcial na rigidez com mais de um ciclo de carga

Fonte: Li e Hebert, 2012.

De modo complementar, os autores ainda citam que realizaram estudos que indicaram que a eficácia da auto regeneração é reduzida ao considerar condições de exposição reais das estruturas de concreto armado. In et al (2013) identificam no ambiente marinho, de potencial agressão às estruturas de concreto, as características necessárias para a auto regeneração do concreto, evidenciando que desta forma pode-se estar culminando na redução de custos no desenvolvimento e recuperação de estruturas inseridas neste ambiente. Desta forma, é delineada a lacuna de verificação da resposta destes mecanismos ao considerar estruturas inseridas em classes de agressividade ambiental.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo entender as técinas para reparo de fissuras através da auto-cizatrização. Existem diversas técnicas que podem ser empregados e diversos estudos esão sendo desenvolvidos para entender a eficácia dos mesmos. Para definir qual técnica deve ser uitilizada deve levar em conta aspectos como os materiais a serem aplicados, os gastos e o ambiente em que a estrutura será inserida. A auto-regeneração influencia o comportamento durável do concreto por intervir na absorção de água e na resistência aos ataques do meio externo. Porém, existem algumas lacunas que foram identificadas e a principal delas é o elevado custo da técnica. Para viabilizar a aplicação em larga escala da técnica deve reduzir os gastos e perdas, além de contar com o dimensionamento preciso. Necessita-se estudar também a viabilização da técnica em diferentes ambientes agressivos e avaliar o desempenho do material, quando há a necessidade de apresentar maior resistência mecânica.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

1. ADAK, Abhik. Self Healing Concrete. Chaksu, Jaipur: Jaganath University, 2015.
2. AFIFUDIN H.A; NADZARAH, W.B; HAMIDAH, M.S NOOR HANA, H.N. Microbial participation in the Formation of Calcium Silicate Hydrated (CSH) from Bacillus subtilis. Procedia Engineering 20. Elsevier. Selangor, Malaysia, p. 159-165, 2011.
3. ALGHAMRI, R; KANNELLOUPOS, A; AL-TABBAA, A. Impregnation and encapsultaion of lightwiegth aggregates for self-healing concrete. Construction and building materials, 124, 2016, p 910-923.
4. ALSHALIFA.F; IRWAN, J.M; OTHMAN, N; ANNEXA, L.H. Isolation of sulphate reduction bacteria (SRB) to improve compress strength and water penetration of bio-concrete, Matec web conferences, 47, 2016.

5. ANNEZA, L.H; IRWAN, J.M; OTHMAN, N; ALSHALIF, A.F. Identification f bacteria and the effect of compressive strength of concrete. MATEC Web of conferences, 2016.
6. ARNOLD, D. Self-healing concrete. Revista Ingenia. Londres, n. 46, março 2011. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
7. FLORES, M.G; MOSCATO, M; SERNA, P; FERRARA, L. Self healing capability of concrete with crystalline admixtures in diferente environments. Construction and building materials, 86, 2015, 1-11.
8. GJØRV, Odd E. Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments. 2. ed. Boca Raton: Crc Press, 2014
9. HILLOULIN, B. Et al. Modelling of autogenous healing in ultra high performance concrete. Cement and Concrete Reserarch, 61-62 (2014) 64-70.
10. IN, C.W; HOLLAND, R.B; KIM, J.Y; KURTIS, K.E; KAHN, L.F; JACOBS, L.J. Monitoring and evaluation of self healing in concrete using diffuse ultrasound. NDT&E International, 57, 2013, 36-44.
11. INGENIA ISSUE, n 46. March, 2011, p39-43.
12. JONKERS, H. M.; SCHALANGEN, E. Crack Repair by concrete-immobilized bacteria. Delf, The Netherlands: Delf University of Technology, Faculty of Civil Engineering and GeoSciences/Microlab, 2007.
13. JONKERS, H. M. Bacteria-based self-healing concrete. Delf, The Netherlands: Delf University of Technology, Faculty of Civil Engineering and GeoSciences, Departament of Materials and Enviroment, 2011.
14. KITSUTAKA, Y; NAKAMURA, N. Prediction of concrete crack opening caused by reinforcing bar corrosion. In: Durability of building materials and componentes 8 (Volume One) Edited by M.A. Lacasse and D.J.Vanier. Published in 1999 by NRC Research Press, Ottawa ON K1A 0R6, Canada. ISBN 0-660-17737-4.
15. KRISHNAPRIYA, S; VENKATESH, B. D. L; ARULRAJ, G. P. Isolation and identification of bacteria to improve the strength of concrete. Microbiological Research 174. Elsevier. Coimbatore, India, p. 48-55, 2015.
16. LALA, R; HUSSAIN, A; AKHTAR, S. Self Healing Concrete. Rajiv Gandhi Technological University, India: 2014.
17. LI, V; HERBERT, E. Robust self healing concrete for sustainable infrastructure, Journal of advanced concrete technology, vol 10, 2012, p207-218.
18. LUO, M; QUIAN, C; LI, R. Factors affecting crack repairing capacity of bacteria- based self healing concrete. Construction and building materials, 87, 2015, p1-7.
19. NARDI, C. D. et al. Effect of age and level of damage on the autogenous healing of lime mortars. Composites Part B, 124 (2017) 144-157.
20. MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.
21. NEVILLE, Adam M. Propriedades do Concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 912 p.
22. ROOJ, M. R. et al. Self-healing phenomena in cement-based materials, RILEM Technical Committee 221-SHC, 2013.
23. SEIFAN, M; SAMANI, A.K; BERENJIAN, A. Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. Applied microbiological biotechnology. 100, 2016, p2591-2602.
24. SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. Patologia, recuperação e recuperação de estruturas de concreto. São Paulo: PINI, 1998.
25. TITTELBOOM, K.V; WANG, J; ARAUJO, M; SNOECK, D; GRUYAERT, E; DEBBAUT, B; DERLUYN, H; CNUDDE, V; TSANGOURI, E; HEMELRIJCK, D.V; DE BELIE, N. Compariso of different approachs for self-healing concrete in a large-scale lab test. Construction and building materials, 107, 2016, p125-137.
26. TITTELBOOM, K.V ; BELIE, N. D. Self-healing in cementitious materials – a review. Materials, 6 (2013) 2182-2217.
27. WANG, J; JONKERS, H.M; BOON, N; DE BELIE, N. Bacillus sphaericus LMG 22257 is physiologically suitable for self-healing concrete. Applied microbial and cell physiology, 2017, p1-
28. WIKTOR, V.; JONKERS, H. M. Quantification of crack-healing in novel bacteria based self-healing concrete. The Netherlands. Cement and Concrete Composites, p. 763-770, 2011.
29. ZAI, S. A. K.; MURTHY, M. K. Self-healing concrete. Bangalore University, India: Journal of Civil Engineering and Environmental Technology, vol. 2, p. 27-33, 2015.
30. ZWAAG, S.V.D. Self-healing Materials: An Alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science. Spring Series in Materials Science, vol. 100, 2007.