

ANÁLISE DA CALCITE, COMPONENTE DO BIOCONCRETO PARA AUTOCURA DE TRINCAS

JUNQUEIRA, Sheilla Maria 1; SOARES, Thaís Aparecida 1;
MOREIRA, Antônio Carlos 2.

1 Acadêmica do 10º período de Engenharia Civil das Faculdades Integradas Pitágoras de Montes Claros.
2 Professor mestre e orientador desta pesquisa, desenvolvida em novembro de 2017 como parte das exigências curriculares do curso de engenharia civil para a aprovação do 10º período.

RESUMO

O concreto, apesar de ser o material mais utilizado nas construções há vários séculos, ainda apresenta falhas que incomodam a humanidade. Mesmo quando é reforçado por outros compostos, mais cedo ou mais tarde ele acaba fissurando causando desconforto aos proprietários em alguns casos comprometendo a estrutura das construções. Com base nisso pesquisadores criaram o bioconcreto, material com capacidade de auto-regeneração, que se deve a presença de bactérias produtoras de calcite (carbonato de cálcio), material capaz de preencher as fissuras. Dessa forma, essa pesquisa tem como objetivo um estudo sobre análise da calcite como propriedade do bioconcreto, para autocicatrização de trincas em obras da construção civil. Para atingir os objetivos propostos, a metodologia utilizada foi fundamentada em pesquisa bibliográfica, levantamento de dados já existentes e publicados. E por fim, foram desenvolvidos ensaios laboratoriais, envolvendo comparação entre o concreto convencional e o concreto com acréscimo de calcite. Assim, a partir dos testes realizados, foi possível identificar a atuação da calcite no preenchimento das trincas existentes em estruturas de concreto confirmando então a hipótese, inicial de autocicatrização. Conclui-se que, mesmo que tenha sido comprovada essa hipótese é necessário a realização de novos testes envolvendo quantidades de calcite inferiores a 20% do cimento utilizado no traço para melhor avaliação de suas propriedades em relação a resistência.

Palavras-chave: Bioconcreto; Calcite; Fissuras.

1 INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, um dos aspectos mais atrativos é a necessidade de estar sempre atualizado, procurando aprender com as novidades e com as novas tendências da construção (BIOCONCRETO, 2017). Um exemplo disso, é o bioconcreto, também conhecido por concreto vivo, é um daqueles conceitos que merece a nossa atenção. O nome vistoso deriva

do seu método de confecção, que consiste em adicionar uma espécie de bactéria e também seu alimento no fabrico do concreto convencional (KRETZER, 2016). Esse novo tipo de concreto possui na sua composição bactérias que produzem calcite. São estas bactérias que possibilitam que o material se auto-repare.

O concreto bacteriano é feito pela adição de cultura pura no processo de mistura do concreto. É um processo inerente e biomaterial que pode remediar as fissuras em concreto (RAMCHANDRAN et al., 2001). Apesar de o concreto ser bastante forte mecanicamente, sofre de vários inconvenientes, tais como baixa resistência à tração, permeabilidade a líquidos, conseqüente corrosão do reforço, suscetibilidade ao ataque químico e, conseqüentemente, baixa durabilidade (MEHTA, 1999). Foram feitas modificações de tempos em tempos para superar tais dificuldades, mas todos esses processos não são fáceis e bons (KIRLEY, 1999). Recentemente, a remediação microbiana de concreto tem sido utilizada para resolver essas dificuldades.

Diante disso, existe na natureza microrganismos que têm resolvido os problemas que os seres humanos, gastam carreiras para resolver Benyus (2005). A bactéria, *Bacillus pseudofirmus*, é um bacilo que vive em ambientes extremamente inóspitos como crateras de vulcões em atividade, lugares com pH acima de 10,0 ou dentro de rochas, mesmo a uma profundidade de mais de 1 km dentro da crosta terrestre, tanto em desertos quanto em ambientes ultrabásicos, as bactérias ativas são encontradas (FAJARDO-CAVAZOS e NICHOLSON, 2006; DON e OBERLANDER, 1981).

Estas bactérias resistentes à dessecação e / ou alcalinas tipicamente formam esporos, que são células especializadas capazes de resistir a altas tensões induzidas mecanicamente e quimicamente (SAGRIPANTI e BONIFACINO 1996). Uma baixa atividade metabólica extremamente ao longo do tempo de vida também gera os esporos, e algumas espécies são conhecidas por produzir esporos que são viáveis por até 200 anos (SCHLEGEL 1993).

A propósito, em vários estudos, foi reconhecido e relatado o potencial de aplicação de bactérias na tecnologia do betão, por exemplo para a limpeza de superfícies de concreto (DEGRAEF et al., 2005), bem como para a melhoria da resistência à compressão da argamassa (GHOSH et al., 2005). Além disso, o tratamento bacteriano de calcário degradado, pedras ornamentais e estruturas de concreto para melhorar a durabilidade, tem sido o tópico específico de vários estudos (BANG et al., 2001; RODRIGUEZ-NAVARRO et al., 2003; DE MUYNCK et al., 2005, DICK et al., 2006).

Nessa perspectiva, o objetivo dessa pesquisa é analisar os aspectos da autocura e desempenho da propriedade do bioconcreto para autocicatrização de trincas em obras da construção civil, o comportamento da calcite derivada da bactéria *Bacillus* atuante no material, comparar a viabilidade do concreto e bioconcreto, explicar aspectos sustentáveis e analisar o desempenho da calcite.

Por fim, esse estudo se justifica, tendo em vista que as fissuras no concreto são inevitáveis e são uma das debilidades inerentes do concreto e a calcite, adicionada ao concreto, age de forma a sanar as possíveis fissuras provenientes de alguma perturbação ou das ações dos agentes naturais. Essa tecnologia poderá em teoria, aumentar exponencialmente o tempo de vida das estruturas de concreto e reduzir substancialmente os custos de manutenção. Sua utilização em grande escala, teoricamente deve fechar as trincas formadas, impedindo a entrada de água e outros agentes químicos que vão contribuir para sua deterioração. Esta capacidade de autorrecuperação é especialmente importante em estruturas de concreto armado que estão enterradas ou de difícil acesso.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Objeto de estudo

Trata-se de um estudo sobre análise da calcite como propriedade do bioconcreto, para autocicatrização de trincas em obras da construção civil.

2.2 Tipo de pesquisa

Para esse estudo realizou-se uma pesquisa bibliográfica, pois procurou-se explicar o problema proposto por meio de referências teóricas publicadas, livros, revistas e internet, utilizando a busca por palavras, tais como, bioconcreto, autocicatrização, calcite, bactéria *Bacillus* e betão. Também, foi realizada um levantamento de dados já existentes e publicados. No qual a pesquisa documental fez parte do levantamento de dados, com o objetivo de embasar os temas sobre a propriedade do Bioconcreto, as patologias que o mesmo pode evitar e outros provenientes ao tema. E por fim, foram desenvolvidos testes laboratoriais, estudos que envolvem ensaios por meio de testes de comparação de fissuração entre o concreto convencional e o concreto adicionado a calcite e ensaios de compressão, conforme as normas.

2.3 Instrumentos para coleta de dados

Estende-se a realização de testes laboratoriais com carregamentos mecânicos induzidos em corpos de prova, de acordo com a NBR 5739 (Ensaio de Compressão de Corpo de Provas Cilíndricos), com o objetivo de realizar um estudo comparativo entre as fissuras apresentadas no concreto convencional e no bioconcreto, visando caracterizar as propriedades de resistência da calcite. Avaliando-se, também os parâmetros determinantes para este tipo de ensaio, como a idade da amostra no momento da geração do fissuramento ou carregamento e a forma de geração do fissuramento, de acordo com a porcentagem de calcite. Foram também efetuados ensaios de inspeção visual através da aplicação do Penetrante Visível Lavável à Água (VP30) e o Revelador Não Aquoso (D70), na superfície dos moldes de concreto, para identificação da atuação da calcite no preenchimento das trincas existentes em estruturas de concreto.

2.4 Abordagem

A abordagem dos dados dessa pesquisa assumiu um caráter quali-quantitativo, em virtude de conterem descrições mais precisas com o intuito de uma melhor explicação sobre o tema proposto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comportamento da calcite

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados. É barato, forte e fácil de trabalhar. Mas, como uma curta caminhada através de qualquer centro da cidade irá provar que ele sofre rachaduras facilmente. O craqueamento de pavimentos de concreto é meramente um incômodo, mas rachaduras em estradas, pontes e edifícios são um perigo (SEIFAN et al., 2016). Água e outros sais escoam através dessas rachaduras, a corrosão se inicia e assim reduz a vida do concreto. Assim, havia a necessidade de desenvolver um biomaterial inerente, um material auto-reparador, que possa corrigir com sucesso as fissuras no concreto (KOTA et.al., 2014).

À vista disto, criaram as estruturas inteligentes, são aquelas que têm a capacidade de sentir certos estímulos e são capazes de responder a eles de uma forma adequada. Autocura vem sob estruturas inteligentes, que se refere a materiais estruturais para curar ou reparar-se automaticamente sobre a detecção de danos. Essa habilidade aumenta a segurança, que é

particularmente necessária para estruturas estratégicas. De acordo com Jonkers (2011), a autocicatrização do bioconcreto, assim denominado, ocorre por meio de um agente de autocura, que irá biologicamente produzir calcite, para selar as fissuras que surgirem na superfície das estruturas de concreto. Esse agente é formado por bactérias selecionadas do gênero *Bacillus*, e nutrientes à base de cálcio, conhecido como lactato de cálcio, além de fósforo e de nitrogênio. E são adicionados juntamente com os constituintes do concreto durante a mistura.

Existem bactérias que poderiam potencialmente agir como um agente de autocura no concreto, e em caso afirmativo, o mecanismo de cura, do ponto de vista microbiológico, a aplicação de bactérias no concreto ou concreto como habitat para bactérias especializadas não é estranha. Embora a matriz de concreto pode parecer inicialmente inóspita para a vida, como é um ambiente muito seco e extremamente alcalino, sistemas naturais comparáveis ocorrem em que as bactérias prosperam (FAJARDO-CAVAZOS e NICHOLSON, 2006; DORN E OBERLANDER, 1981)

A vantagem surpreendente deste bioconcreto é o seu próprio eu, capacidade de cura. O betão auto curável é um produto que produzirá biologicamente uma pedra calcária para curar as rachaduras que aparecem na superfície das estruturas de concreto (KOTA et al., 2014). No entanto, é tão durável e forte quanto o concreto convencional e pode ser usado como um melhor substituto para o concreto normal.

Os esporos bacterianos podem possuir estresses extremos mecânicos e químicos e permanecerem dormentes por anos, mas os esporos bacterianos viáveis imobilizados na matriz de concreto se tornam metabolicamente ativos quando eles entram em contato com a água, entrando recentemente no concreto. Assim, através da ativação do metabolismo dos esporos bacterianos que estão nas rachaduras, dá-se início a um mecanismo conhecido como cálcio de precipitação de carbonato (KOTA et al.; 2014).

Dessa forma, a criação desse novo biomaterial capaz de regenerar trincas e rachaduras no concreto é essencial para prolongar a vida útil de pontes, ruas, túneis, solucionando situações em que a ação do tempo é capaz de prejudicar estruturas inteiras. Com isso, está sendo abordado mais detalhadamente nos próximos tópicos a utilização do bioconcreto para prolongar de forma significativa as manutenções em edificações de forma a minimizar os custos ao decorrer do tempo.

3.2 Sustentabilidade do bioconcreto

Hoje, a aplicação do concreto está aumentando rapidamente. Já é o material mais usado no mundo, pois é relativamente barato e seus ingredientes básicos (areia / cimento / cascalho / água) são prontamente disponíveis. A principal preocupação é que o concreto é insustentável devido a dolorosa pegada de carbono associada a ele. Tornou-se claro que o cimento, o ingrediente do aglutinante-chave no concreto, tem um alto nível de impacto ambiental. Atualmente, cerca de 10% do CO₂ antropogênico total é devido à produção de cimento unicamente (JONKERS, 2009).

De acordo com Soutsos, a regra do polegar para a produção de cimento é como, para cada tonelada de cimento feita, uma tonelada de CO₂ é produzida (CROW, 2008). Após o Protocolo de Quioto, vários compromissos foram feitos para reduzir isso através de uma série de avaliações como - (i) eficiência de produção, (ii) eficiência energética, especialmente na fase de calcinação, pois representa a maioria do consumo de energia (CIMENT CATALA, 2007) e (iii) a inovação na captura e armazenamento de CO₂.

Para solucionar questões sustentáveis foi criada uma técnica baseada biologicamente com a incorporação de bactérias produtoras do biocimento. Esta técnica corrige trincas e fissuras em betão com precipitação microbiologicamente induzida de carbonato de cálcio (MICP) um processo pelo qual os organismos vivos formam matérias inorgânicas sólidas (STOCKS-FISCHER et al., 1999). Trata-se de uma técnica altamente desejável, porque a precipitação mineral induzida como resultado de atividades microbianas é livre de poluição, é natural.

Hoje, com a autocura do concreto, a inovação está sendo inspirada pela natureza como uma alternativa sustentável. Segundo Janine Benyus, "Fazendo o caminho da natureza"; a natureza é um modelo (em termos de forma, processo, sistema e estratégias), uma medida (um padrão para julgar a sustentabilidade ecológica) e/ou um mentor (uma forma de visualizar e valorização). Na natureza existem microrganismos que têm resolvido os problemas que os seres humanos gastam tempos para resolver e ainda vivem em harmonia há séculos (BENYUS, 2005).

Para estabelecer o bioconcreto como um substituto sustentável do concreto convencional, as consequências ambientais desta substituição devem ser avaliadas. A avaliação do ciclo de vida (LCA) é uma metodologia adequada para avaliar as implicações ambientais de um produto ao longo de seu ciclo de vida completo. Todas as ferramentas LCA utilizam a metodologia padrão

na ISO 14040 (2015) desenvolvida pela Organização Internacional de Padronização. Define LCA como uma compilação de avaliação dos insumos, saídas e os potenciais impactos ambientais de um sistema de produtos ao longo de seu ciclo de vida.

Por meio de uma metodologia de análise de LCA, observou-se que o impacto ambiental do bioconcreto é a metade do concreto, embora a produção dos insumos em bioconcretos seja o dobro do concreto. Isto ocorre devido principalmente à possibilidade de o bioconcreto ser capaz de ser reciclado e reutilizado para reproduzir bioconcreto, formando assim um circuito fechado (GONSALVES, 2011).

3.3 Desempenho da propriedade do bioconcreto

O novo método não tradicional de reparação de microfissuras em estruturas de betão, consiste na incorporação de esporos no betão, de maneira a que tenham condições para conseguirem formar carbonato de cálcio. Uma das bactérias mais utilizadas é do género *Bacillus*, pelas suas capacidades de se adaptar a meios agressivos (JONKERS et al., 2010). Os betões com capacidade de autorreparação podem ser uma solução útil para o futuro. Betões autorreparadores utilizavam a bactéria do género *Bacillus*, mas que diferiam na sua espécie, nomeadamente *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cohnii*, *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus pasteurii* e *Bacillus subtilis*.

O uso de micro-organismos aeróbicos (*Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus pasteurii*), como agentes autocuraisantes, apresentaram melhoria de 18% na resistência à compressão da argamassa de cimento. Jonkers (2007) em seu estudo investigou o uso de bactérias para a cicatrização de fissuras que ocorrem no concreto como agente autocurativo. DeMuynck et al. (2008) mostraram que a durabilidade de materiais de cimento pode ser melhorada juntamente com a deposição de carbonato pelo tratamento de superfície de *Bacillus Sphaericus*. Ramachandran et al. (2001) relataram o uso de bactérias para melhorar a durabilidade do concreto quanto à resistência ao ataque de álcalis, congelamento-descongelamento, sulfato, secagem e encolhimento. Achalet et al., (2011) investigaram os efeitos de *Bacillus sp.* CT-5 isolado a partir de cimento para determinar o teste de absorção de água e resistência à compressão. O resultado mostrou que a resistência à compressão da argamassa de cimento aumentou para 36% com a adição de microrganismos e os cubos tratados absorveram água seis vezes menos quando comparados aos cubos de controle devido à deposição de calcite microbiana.

Isso indica que, ao usar *Bacillus* para a produção de "concreto microbiano", pode aumentar a durabilidade dos materiais de construção. Ghosh et al. (2005) descreveram um método para melhorar a força da argamassa de cimento e areia com precipitação mineral induzida por micróbios. O aumento da resistência à compressão da argamassa de cimento (25%) no 28º dia foi observado com a adição de bactérias termófilas e anaeróbicas, na faixa de 105 células / ml para a água de mistura. A melhoria da força foi devido ao crescimento do material de enchimento dentro dos poros dos cimentos e da matriz. Ghosh et al. (2005) usaram a bactéria e colocaram em argamassa de cimento para permitir uma melhor comparação, mas a partir da melhora na força que realmente foi observada, é claramente evidente que principalmente nas rachaduras internas, não existe muito oxigênio.

Bacillus megaterium que produz calcite pode melhorar as propriedades do tijolo de cinzas (silêncio de arroz e tijolos de cinzas volantes), conforme investigado por Dhamia et al. (2012). Observou-se uma redução significativa na absorção de água nos tijolos tratados, juntamente com o aumento da resistência à compressão devido à deposição de calcite nos vazios e na superfície dos tijolos. A deposição extracelular de cristais de calcite na superfície de tijolos é devido à atividade microbiana. Essas descobertas mostram que esta tecnologia tem um melhor potencial para o desenvolvimento de blocos de construção ecológicos e duráveis.

Efeito sobre a permeabilidade ao concreto, o fenômeno comum observado na estrutura do concreto é a formação de *crack*. A formação de microfissuras resultante dificilmente afeta as propriedades estruturais da construção, mas pode, devido a isso, reduzir a durabilidade da estrutura do concreto e pode representar uma ameaça devido ao risco de entrada de substâncias agressivas, particularmente em um ambiente úmido. Agentes de cura específicos podem ser incorporados na matriz de concreto, a fim de aumentar o potencial de craqueamento autônomo observado de concreto (VAN TITTELBOOM et al., 2010).

3.4 Viabilidade do concreto e bioconcreto

O processo de autocura tem se mostrado eficaz, e podendo até mesmo ser adicionado a um líquido a ser pulverizado sobre edifícios existentes. O problema, no entanto, são os altos custos. Atualmente, é duas vezes o custo do concreto tradicional (BOELEN et al, 2012). Entretanto, o impacto ambiental do bioconcreto é a metade do concreto devido sua capacidade de reutilização e reciclagem. (GONSALVES, 2011).

Os mecanismos autocicatrizantes possuem a vantagem de poderem ocorrer mais de uma vez, e pode ser facilmente especificado nos projetos para elementos estruturais de concreto que não são facilmente acessíveis para a sua manutenção e seu reparo, tais como estruturas subterrâneas, pontes e barragens. Embora os seus custos iniciais sejam maiores, os custos de manutenção podem ser reduzidos, e a vida útil de serviço dessas estruturas podem ser prolongadas, assim como o dano que pode ser imediatamente reparado (VAN TITTELBOOM, DE BELIE, VAN LOO, JACOBS, 2011).

Segundo o projeto Healcon: “Concreto com poderes de autocura”, que pretende promover o uso do novo material, só na Europa são gastos anualmente US \$ 6,8 bilhões (mais de R\$ 22 bilhões) para reparar edifícios enfraquecidos. Apesar de ser mais caro que o concreto tradicional, o benefício econômico é perceptível, pois economiza em custos de manutenção (BBC, 2016).

Não há limite para a extensão da rachadura que o bioconcreto possa reparar. Pode ser de centímetros a quilômetros. Para a rachadura em si, no entanto, há um limite: a fissura não pode ser mais larga que 8 milímetros. Ainda assim, o bioconcreto pode economizar bilhões de dólares na manutenção de estruturas como paredes de edifícios, pontes ou barragens (BBC, 2016).

3.5 Descrição do laboratório

3.5.1 Preparo do concreto

O concreto de resistência normal foi dosado utilizando-se o método tradicional, visando uma resistência à compressão aos 28 dias de 25 MPa. Para o fabrico do concreto convencional e do concreto com acréscimo calcite, utilizou-se uma betoneira elétrica de eixo inclinado e tambor giratório, apresentado na figura 1.

Figura 1 – Betoneira Elétrica de eixo inclinado.



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Esse segue-se uma sequência de produção adotada como:

- a) Imprimação da betoneira com um traço de concreto de 1:2,85:3,16:0,75 (cimento:areia:brita:água). Após a imprimação, deixou-se o material excedente cair livremente, com a betoneira em movimento;
- b) Lançamento dos componentes secos na betoneira: agregado graúdo, agregado miúdo e material cimentante, mostrado na figura 2;

Figura 2 – Materiais: cimento, areia, brita, água e calcite.



Fonte: Elaboração própria, 2017.

- c) Adição de metade da água à mistura seca seguida de 1 minuto de processamento;

d) Adição do restante da água e lançamento gradual na betoneira. Após toda a adição dos componentes na betoneira, a mistura era processada por cerca de 5 minutos até a completa homogeneização;

e) Após o fabrico do concreto convencional mencionado a cima, foi realizada a retirada de $3,868 \text{ cm}^3$ do volume do seu traço para moldagem do corpo de prova com capacidade de $1,993 \text{ cm}^3$, com as seguintes dimensões $0,10 \times 0,20 \text{ m}$ e confecção de uma amostra retangular com volume $1,875 \text{ cm}^3$, contendo as seguintes medidas $0,25 \times 0,15 \times 0,05 \text{ m}$.

Com o material restante, foram elaborados mais três processos, onde incorporamos em cada um, a quantidade de 10% de calcite sobre o volume total de cimento do traço inicial, visando avaliar a influência desse mineral no comportamento das fissuras apresentadas no concreto convencional. O traço inicial da mistura é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do concreto sem adição de calcite

Concreto Normal			
Material	Peso Específico	Dosagem	Traço Real (Kg)
Areia Fina	1,340	11,661	11,665
Brita 1	1,290	12,942	12,956
Cimento	1,210	4,098	4,100
Água	1,000	2,664	3,075

Fonte: Elaboração própria, 2017.

No primeiro processo realizou-se a mistura do concreto reforçado com uma fração volumétrica de 10% (200g) de calcite em relação ao volume total do cimento utilizado. Com este material produziu-se uma nova amostra retangular, com as mesmas dimensões da primeira, $0,25 \times 0,15 \times 0,05 \text{ m}$ e um corpo de prova cilíndrico com volume de $1,993 \text{ cm}^3$ contendo as seguintes dimensões $0,10 \times 0,20 \text{ m}$.

No segundo processo, com o volume de material restante do processo anterior, gerou-se a mistura do concreto reforçado agora com mais 10% (200g) de cacite, este também em relação ao volume total de cimento do traço inicial. Logo após elaborou-se mais uma amostra retangular contendo as mesmas dimensões das anteriores, 0,25x0,15x0,05 m.

Por fim, no terceiro processo, com o volume de material remanescente, foi criada a mistura do concreto reforçado com mais 10% (200g) de cacite, este, também, em relação ao volume total de cimento do traço inicial. Em seguida produziu-se a amostra retangular, também conservando as medidas das anteriores 0,25x0,15x0,05 m, e um corpo de prova cilíndrico com volume de $1,993 \text{ cm}^3$ com as dimensões 0,10x 0,20 m.

3.5.2 Confecção do Corpo de Prova

Para a produção dos corpos de prova foram seguidas as recomendações da NBR 5738 - "Moldagem e Cura de Corpos de prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos", que prescreve o procedimento de moldagem, desforma, transporte, cura e preparo dos corpos de prova, destinados a avaliação das qualidades intrínsecas do concreto.

Com o propósito de se atender os objetivos da pesquisa, foram utilizados os corpos de prova tradicionalmente para a avaliação das características do concreto convencional e do concreto acrescido a calcite, com formato cilíndrico, cujas dimensões são 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura), de acordo com a NBR 5738. Utilizou-se um total de 3 corpos de prova para a resistência à compressão, sendo 1 confeccionados com concreto convencional, e os outros 2 com a adição da calcite com a porcentagem de 10% e 30% sobre o valor do volume de cimento utilizado no teste, apresentado na figura 3.

Figura 3 - Confecção de corpo de prova



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Os corpos de prova foram desmoldados entre 24 e 36 horas, e colocados em seguida em água

saturada de cal, permanecendo ali até o dia designado para o ensaio, conforme ABNT (1984).

3.5.3 Resistência a compressão

Foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial de acordo com a NBR 5739 aos seus 21 dias para os diferentes traços, referente ao concreto convencional e aos contendo acréscimos percentuais com 10% e 30% de calcite (figura 4). Por meio deste ensaio foi possível verificar se a adição da calcite no concreto tem alguma influência no resultado da resistência à compressão.

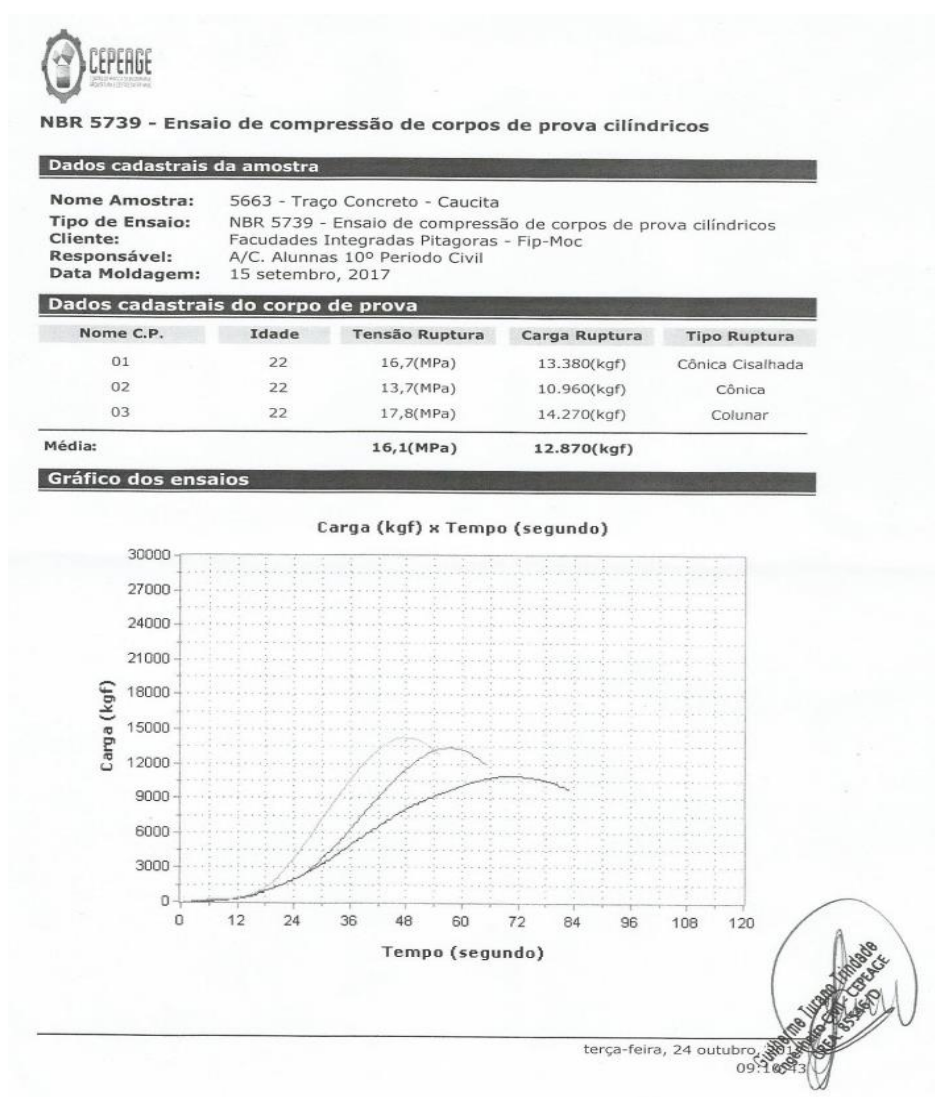
Figura 4 - Rompimento dos corpos de prova



Fonte: Elaboração própria, 2017.

As características desse aditivo, como textura, influenciam positivamente o aumento da resistência. A calcite apresenta um grande percentual de finos que ajudam a mistura a ter um efeito de fluidez e proporciona um maior fechamento dos vazios. Além disso, por possuir maior fluidez, o aditivo permite uma maior aderência entre a pasta e o agregado, através da absorção da pasta. Nos concretos com adição da calcite, todos estes aspectos são significativos para o aumento da resistência. Como podemos observar, o gráfico da figura 5, apresenta os resultados do efeito da porcentagem da calcite na resistência à compressão do concreto.

Figura 5 - Gráfico de resistência à compressão das amostras



Fonte: Elaboração própria, 2017.

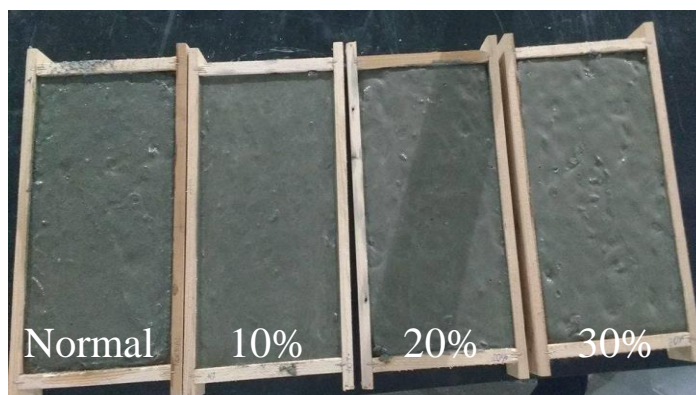
Na figura 5 nota-se que os valores de resistência deram significativamente inferiores aos valores esperados, devido algum erro, podendo ser por erro em relação ao traço ou até mesmo moldagem sendo assim inviável a análise da atuação da calcite neste ensaio.

3.5.4 Amostras retangulares

Foram moldadas 4 amostras retangulares com dimensões 0,25x0,15x0,05 m, sendo confeccionada a primeira com traço convencional, e as seguintes com acréscimos de 10 %, 20% e 30% de calcite (Figura 6), com a finalidade de analisar e comparar a presença de fissuras

entre elas.

Figura 6 – Amostras retangulares de concreto

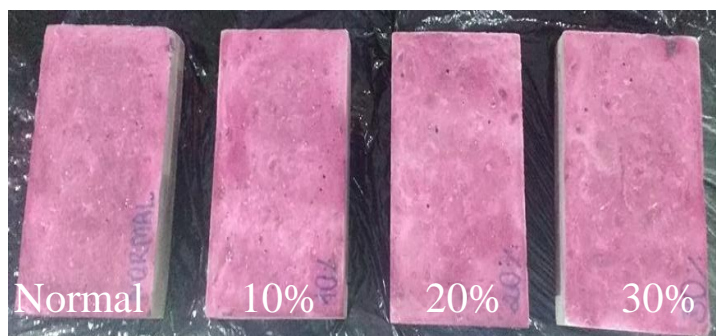


Fonte: Elaboração própria, 2017.

Estes moldes foram armazenados em um local protegido por um período de 24 horas, e durante os 7 dias seguintes foram realizados o processo de cura das amostras, visando retardar a evaporação da água empregada na preparação da mistura, permitindo assim a completa hidratação do cimento.

O acompanhamento da evolução das fissuras nos elementos do concreto foi feito através do ensaio de resistência à compressão e inspeção visual através do Penetrante Visível Lavável à Água (VP30) e o Revelador Não Aquoso (D70) da marca Metal-Chek, produtos foram aplicados na superfície dos moldes de concreto (Figura 7). Os mesmos são essenciais para acompanhar as fissuras que o concreto tem e verificar se existe evolução no preenchimento ou não das mesmas. Estes ensaios foram feitos após 30 dias do preparo do concreto.

Figura 7– Óleo Penetrante aplicado nos moldes de concreto



Fonte: Elaboração própria, 2017.

O processo de inspeção visual foi realizado em três etapas. Inicialmente foi feita a limpeza da superfície das amostras com um pano úmido, em seguida aplicou-se o Óleo Penetrante, após 10 minutos aguardados foi aplicado o líquido Revelador. A utilização do óleo penetrante para a inspeção visual é essencial, pois ele permite acompanhar as fissuras que o Betão tem e verificar se existe evolução no preenchimento ou não das mesmas. A partir destes dados sabe-se qual amostra possui o melhor resultado, neste caso será o que contém o acréscimo de calcite.

Na amostra sem acréscimo de calcite é perceptível o aparecimento das fissuras, como pode-se perceber na figura 8.

Figura 8 – Amostra sem a presença de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

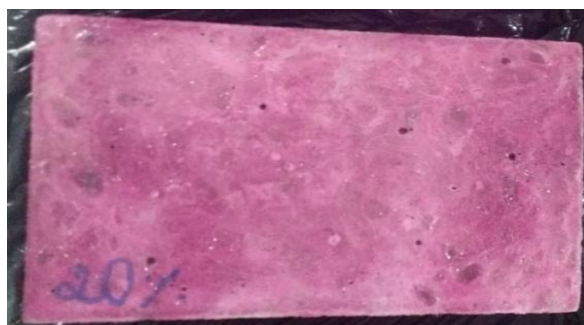
Entretanto nas amostras contendo 10% (figura 9), 20% (figura 10) e 30% (figura 11) de calcite, não foi possível visualizar a presença das fissuras, o que evidencia a atuação desse material no preenchimento das mesmas.

Figura 9 – Amostra sobre presença de óleo penetrante e revelador contendo 10% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Figura 10 – Amostra sobre presença de óleo penetrante e revelador contendo 20% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Figura 11 – Amostra sobre presença de óleo penetrante revelador contendo 30% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Desse modo, por meio do ensaio realizado, verifica-se que quanto maior a porcentagem de calcite, mais fluido torna-se o concreto, apresentando-o uma menor quantidade de fissuras.

3.5.5 Segunda etapa da prática

A segunda etapa da prática foi realizada tendo em vista o resultado da resistência abaixo do esperado na primeira fase. Esta baseou-se em reproduzir amostras de concreto convencional e amostras com porcentagens de calcite. Entretanto nessa nova etapa, utilizou-se um novo traço de concreto para cada amostra e percentual, como podemos observar nas tabelas 2, 3, 4 e 5, o tipo de cimento usado passou a ser o cimento CP V (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial) e os valores de porcentagens da calcite também sofreram alterações, visando uma resistência à compressão aos 5 dias os 25 Mpa.

Para o fabrico do concreto convencional e do concreto com acréscimo de calcite, utilizou-se uma betoneira elétrica de eixo inclinado e tambor giratório. Seguindo-se a sequência na produção adotada anteriormente. Também, foi realizado o mesmo procedimento, sendo este modificado a quantidade de calcite utilizada em relação ao percentual em cima do cimento, para confecção das quatro amostras nas formas retangulares, para o teste de visualização, e para a composição de oito corpos de prova.

No primeiro procedimento foi realizado o preparo do concreto convencional similar ao da etapa anterior, conforme o traço da tabela 2.

Tabela 2 - Composição do concreto sem adição de calcite

Concreto Normal			
Material	Peso Específico	Dosagem	Traço Real (Kg)
Areia Fina	1,490	5,680	5,680
Brita 1	1,270	6,220	6,220
Cimento	1,210	2,000	2,000
Água	1,000	1,160	1,220 + 200

Fonte: Elaboração própria, 2017.

No segundo, foi efetuado um novo traço (tabela 3) com acréscimo de 10% (200g) de calcite em relação a quantidade de cimento apresentado no traço do primeiro procedimento.

Tabela 3 - Composição do concreto com 10% de calcite

Concreto Adicionado 20% de Calcite			
Material	Peso Específico	Dosagem	Traço Real (Kg)
Areia Fina	1,490	5,680	5,680
Brita 1	1,270	6,220	6,220
Cimento	1,210	2,000	2,000
Água	1,000	1,160	1,220 + 100
Calcite		0,200	0,200

Fonte: Elaboração própria, 2017.

No terceiro, também foi realizado um novo traço (tabela 4) com acréscimo de 20% (400g) de calcite em relação ao quantitativo de cimento utilizado no traço do primeiro processo.

Tabela 4 - Composição do concreto com 20% de calcite

Concreto adicionado 20% de Calcite			
Material	Peso Específico	Dosagem	Traço Real (Kg)
Areia Fina	1,490	5,680	5,680
Brita 1	1,270	6,220	6,220
Cimento	1,210	2,000	2,000
Água	1,000	1,160	1,220 + 150
Calcite		0,400	0,400

Fonte: Elaboração própria, 2017.

E por fim, no quarto procedimento foi acrescentado 30% (600g) de calcite no traço (tabela 5) utilizado para confecção do concreto convencional.

Tabela 5 - Composição do concreto com 30% de calcite

Concreto adicionado 30% de Calcite			
Material	Peso Específico	Dosagem	Traço Real (Kg)
Areia Fina	1,490	5,680	5,680
Brita 1	1,270	6,220	6,220
Cimento	1,210	2,000	2,000
Água	1,000	1,160	1,220 + 150
Calcite		0,600	0,600

Fonte: Elaboração própria, 2017.

Em cada procedimento acima, com diferentes quantidades de porcentagens, foram confeccionados dois corpos de prova para cada processo, seguindo a NBR 5738 - "Moldagem e Cura de Corpos de prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos", e uma amostra retangular para cada traço, com as mesmas dimensões da etapa anterior e mesma finalidade.

3.5.6 Resistência à compressão

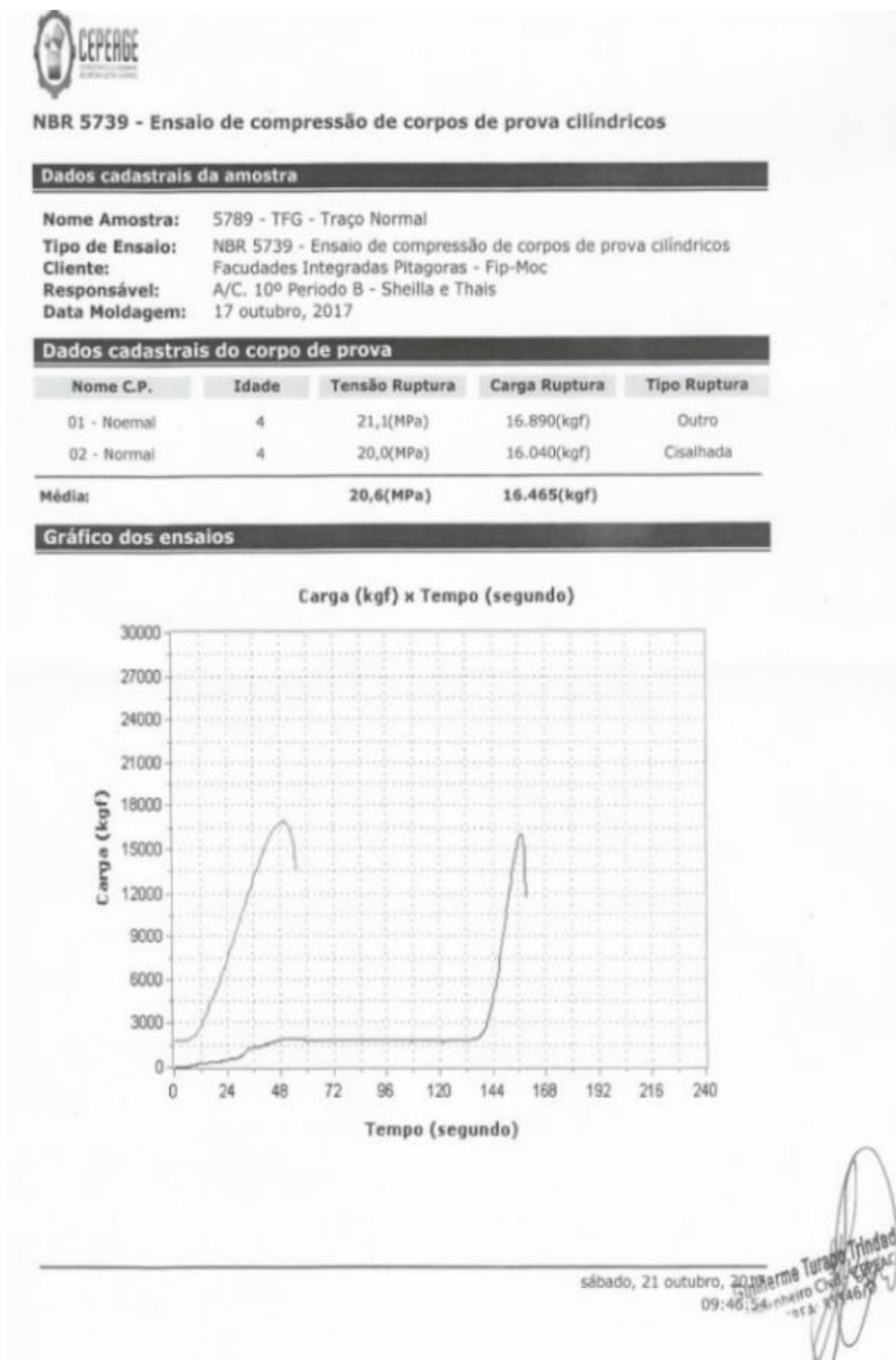
O ensaio de resistência à compressão axial foi precedido de acordo com a NBR 5739 aos seus 4 dias para os diferentes traços, referente ao concreto convencional, e aos contendo acréscimos percentuais com 10%, 20 % e 30% de calcite (figura 12). Através deste ensaio foi possível analisar se a adição da calcite no concreto têm alguma influência no resultado da resistência à compressão. Como podemos observar, nos gráficos das figuras 13 e 14 apresenta os resultados do efeito da porcentagem da calcite na resistência à compressão do concreto.

Figura 12 - Rompimento dos corpos de prova



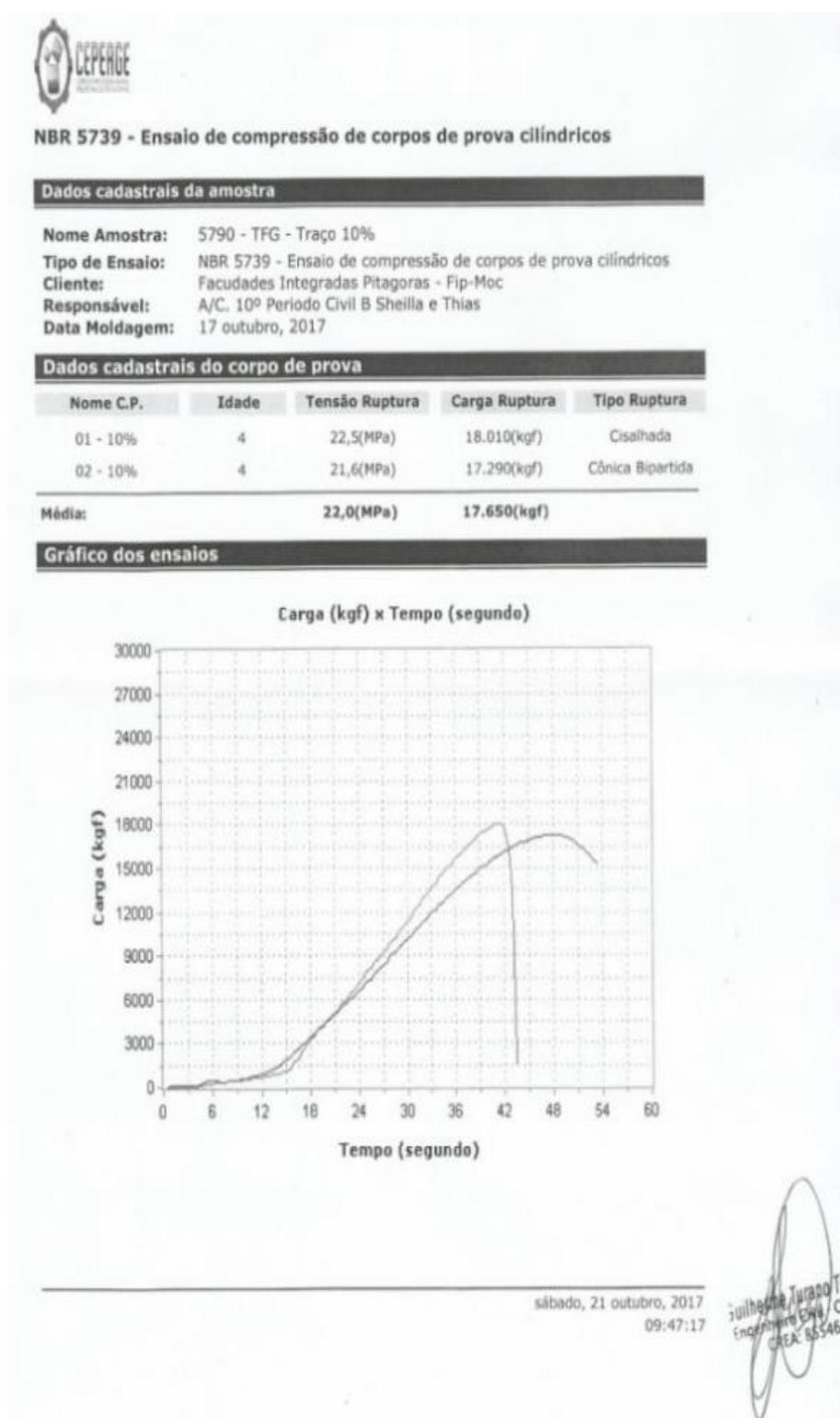
Fonte : Elaboração própria, 2017.

Figura 13 - Gráfico de resistência à compressão, concreto sem adição de calcite



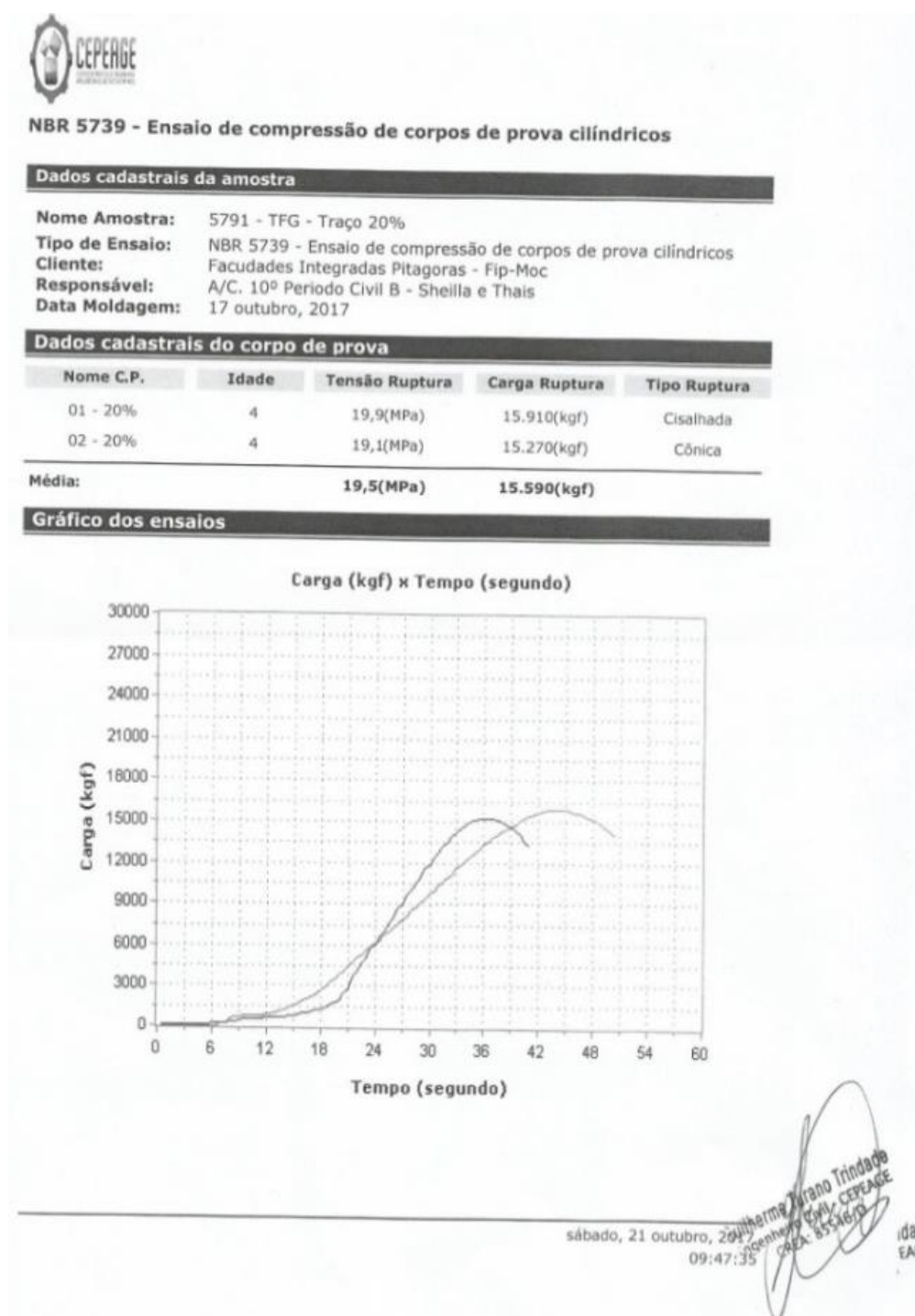
Fonte: Elaboração próprio, 2017.

Figura 14 - Gráfico de resistência à compressão, concreto com adição de 10% de calcite



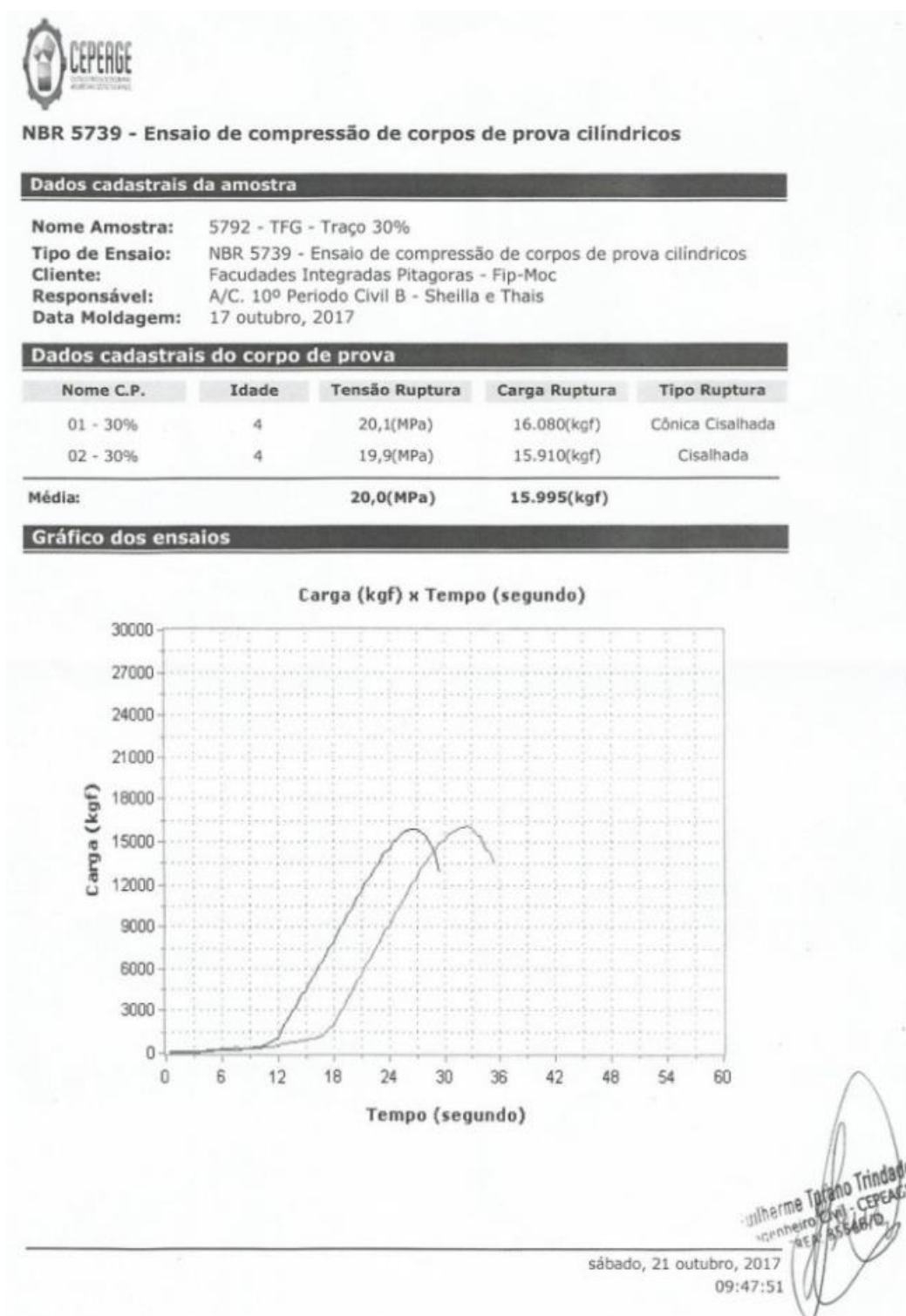
Fonte: Elaboração próprio, 2017.

Figura 15 - Gráfico de resistência à compressão, com acréscimo de 20% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Figura 16 - Gráfico de resistência à compressão, com acréscimo de 30% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Nas figuras 13, 14, 15 e 16, não é possível perceber um aumento significativo da resistência dos corpos de prova em relação ao acréscimo de calcite, aqueles com 20% e 30% pelo contrário tiveram como resultado resistências inferiores ao concreto sem acréscimo. Entretanto percebe-se que o concreto com acréscimo de 10% de calcite obteve uma resistência levemente acima das demais.

3.5.7 Amostras retangulares

Como no 1º processo, foram moldadas 4 amostras retangulares com dimensões 0,25x0,15x0,05 m, sendo confeccionada a primeira com traço convencional, e as seguintes com acréscimos de 10 %, 20% e 30% de calcite (figura 17). Assim como no processo anterior foi efetuada a cura.

Figura 17 – Amostras retangulares de concreto



Fonte: Elaboração própria, 2017.

O acompanhamento da evolução das fissuras nos elementos do concreto também foi realizado como o anteriormente, através do ensaio de resistência à compressão e inspeção visual através da utilização do óleo penetrante (figura 18).

Figura 18 – Óleo Penetrante aplicado nos moldes de concreto



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Novamente foi realizada a limpeza da superfície das amostras com um pano úmido, em seguida aplicou-se o óleo penetrante, após 10 minutos aguardados foi aplicado o líquido revelador.

Neste processo os ensaios foram feitos após 7 dias, de forma a analisar também o fator tempo, em relação a presença da calcite. Na (figura 19) amostra sem acréscimo de calcite é notável o aparecimento das fissuras.

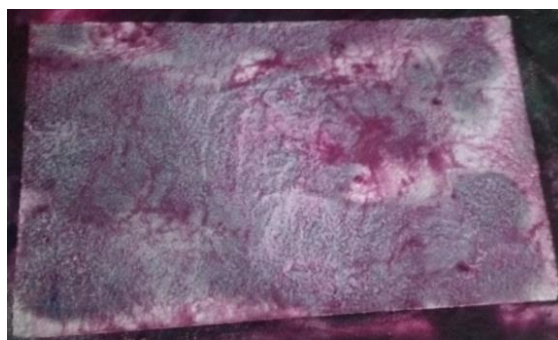
Figura 19 – Amostra sem presença de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Na amostra, contendo 10% (figura 20), já é possível perceber uma leve diminuição da presença de fissuras.

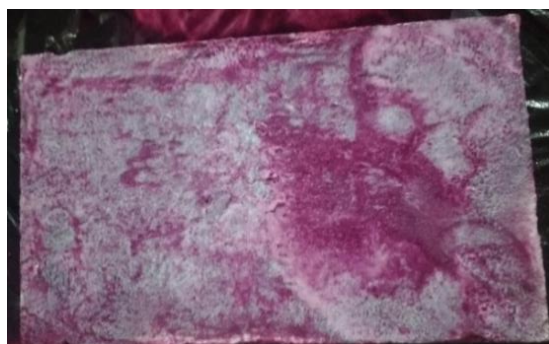
Figura 20 – Amostra sobre presença de óleo penetrante revelador contendo 10% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Na amostra contendo 20% (figura 21), é possível perceber novamente uma diminuição da presença de fissuras.

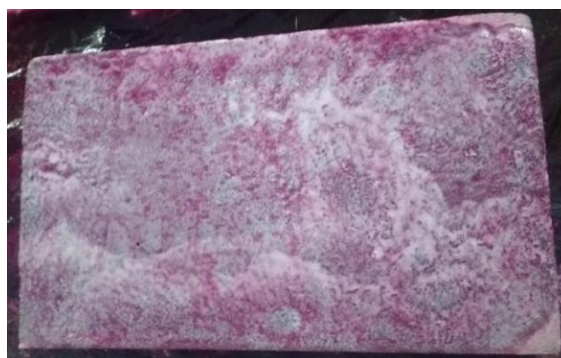
Figura 21 – Amostra sobre presença de óleo penetrante e revelador contendo 20% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Na amostra contendo 30% de calcite (figura 22), não foi possível visualizar a presença das fissuras, o que reforça a atuação desse material no seu preenchimento.

Figura 22 – Amostra sobre presença de óleo penetrante e revelador contendo 30% de calcite



Fonte: Elaboração própria, 2017.

Através deste ensaio realizado, foi possível, portanto, evidenciar a atuação da calcite no processo de autocicatrização do concreto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto é o material estrutural de maior uso na atualidade, tendo assim grande importância, entretanto, mesmo o concreto de mais alta qualidade, apresenta falhas e a qualquer momento ele pode acabar fissurando. Com base nisso, pesquisadores desenvolveram um material, o qual denominaram “Bioconcreto”, uma espécie de concreto que contém na sua constituição bactérias produtoras de calcite (carbonato de cálcio), capazes de conferir ao material propriedades de auto-reparação. Em vista disso este estudo teve o objetivo de examinar esta propriedade da calcite que confere ao concreto a capacidade de auto-reparação de trincas e fissuras.

Com base nos ensaios realizados pode-se concluir que o objetivo do estudo foi alcançado, visto que, obtive-se o resultado com o acréscimo da calcite para o preenchimento das fissuras normalmente apresentadas no concreto convencional. Evidencia-se que este é mais perceptível e se torna mais fluído de acordo com o aumento do percentual de calcite.

Já nos testes de compressão executados, pode-se observar que não houve aumento considerável de resistência em relação ao acréscimo de calcite, apenas com a adição de 10% da calcite pode ser percebido um pequeno crescimento referente ao aumento da resistência. Entretanto os corpos de prova com 20% e 30% não apresentaram diferenças significativas

entre o concreto normal, houve até mesmo uma queda da resistência em relação ao com o acréscimo dos 10%.

Com tudo, sugere-se possíveis testes de compressão com menor quantidade de calcite, sendo estas inferiores a 20% da quantidade do cimento utilizado, para assim uma melhor verificação de um possível aumento de resistência.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14724**: Informação e documentação. Trabalhos Acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**: Moldagem e Cura de Corpos de prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739**: Ensaio de Compressão de Corpo de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ACHAL, Varenayam; MUKHERJEE, Abhijit; REDDY, M. Sudhakara. Microbial concrete: way to enhance the durability of building structures. **Journal of materials in civil engineering**, [S.I.], v. 23, n. 6, p. 730-734, 2011.

Bang S. S., Ramakrishnan V. **Microbiologically-enhanced crack remediation (MECR)**, in **Proceedings of the International Symposium on Industrial Application of Microbial Genomes**. Daegu, p.3–13, 2001.

BBC Brasil. Conheça o bioconcreto, material que fecha as próprias rachaduras. **Revista BBC**, Brasil, 27 ago. 2016. Disponível em:<<http://www.bbc.com/portuguese/geral-37204389>>. Acesso em: 21 maio 2017.

BENYUS; Janine. **Biomimicry**: Innovation inspired by Nature. California,EUA: Editora William Morrow & Co, 2005 .320p.

BOELEN et al. **A Concrete Solution for a Concrete Problem**. Universidade de Delft. 2012. Disponível em: <<http://www.foundation->

imagine.org/uploads/media/Finalist_Bioconstruction_A_concrete_solution_for_a_concrete_problem.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

CIMENT CATALA. **Cement and Environment**. Publicado em 2007. Disponível em: <http://www.catalcement.eudata.be/epub/easnet.dll/ExecReq/Page?eas:dat_im=001C5A&eas:template_im=001CBC>. Acesso em: 21 maio 2017.

CROW, James Mitchell. The concrete conundrum. **Chemistry World**, [S.I.], v. 5, n. 3, p. 62-66, 2008.

DE GRAEF, Bernard et al. Cleaning of concrete fouled by lichens with the aid of Thiobacilli. **Materials and structures**, [S.I.], v. 38, n. 10, p. 875-882, 2005.

DE MUYNCK, W. et al. **Microbial ureolytic calcium carbonate precipitation for remediation of concrete surfaces**. In: Procedimentos da Conferência Internacional sobre Reparação de Concreto, Reabilitação e Reformas, Cidade do Cabo, África do Sul. 2005. p. 296-297. Disponível em: <<https://biblio.ugent.be/publication/342463>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

DE MUYNCK, Willem et al. Bacterial carbonate precipitation as an alternative surface treatment for concrete. **Construction and Building Materials**, [S.I.], v. 22, n. 5, p. 875-885, 2008.

DE MUYNCK, Willem et al. Bacterial carbonate precipitation improves the durability of cementitious materials. **Cement and concrete Research**, [S.I.], v. 38, n. 7, p. 1005-1014, 2008.

DHAMI, Navdeep Kaur; REDDY, Sudhakara M.; MUKHERJEE, Abhijit. **Biofilm and microbial applications in biomineralized concrete**. Publicado em 17 fevereiro 2012. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/advanced-topics-in-biomineralization/biofilm-and-microbial-applications-in-biomineralized-concrete>>. Acessado em: 10 jun. 2017.

DICK, Jan et al. Bio-deposition of a calcium carbonate layer on degraded limestone by Bacillus species. **Biodegradation**, [S.I.], v. 17, n. 4, p. 357-367, 2006.

DORN, Ronald I.; OBERLANDER, Theodore M. Microbial origin of desert varnish. **Science**, [S.I.], v. 213, n. 4513, p. 1245-1247, 1981.

FAJARDO-CAVAZOS, Patricia; NICHOLSON, Wayne. Bacillus endospores isolated from granite: close molecular relationships to globally distributed Bacillus spp. from endolithic and extreme environments. **Applied and environmental microbiology**, [S.I.], v. 72, n. 4, p. 2856-2863, 2006.

Gestão Ambiental. **ISO 14040**: A avaliação do ciclo de vida. Princípios e Estrutura. Publicado em 2015. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-14.040-Gest%C3%A3o-Ambiental-avaliac%C3%A3o-do-ciclo-de-vida-principios-e-estrutura.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2017.

GHOSH, P. et al. Use of microorganism to improve the strength of cement mortar. **Cement and Concrete Research**, [S.I.], v. 35, n. 10, p. 1980-1983, 2005.

GONSALVES, Gayle Maria. **Bioconcrete**: A sustainable substitute for concrete. 2011. Dissertação de Mestrado - Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2011. Disponível em:< <https://pt.scribd.com/document/249354261/Biological-Concrete>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

JONKERS, H. M. Bacteria-based self-healing concrete. **HERON**, [S.I.], v. 56, n. 1/2, p. 5-16, 2011.

JONKERS, H.M. **Bioconcrete**-Green Inside. Delft: Delft University of Technology. 2009. Disponível em: <https://www.sefindia.org/rangarajan/bioconcrete/workshop_6_SmartSoils.pdf> Acesso em: 25 maio 2017.

JONKERS, H.M. **Self healing concrete**: a biological approach, in Self Healing Materials: An alternative Approach to 20 Centuries of Materials Science. Delft: Editora van der Zwaag S., 2007. p.195–204.

JONKERS, H.M., SCHLANGEN, E. **A two component bacteria-based self-healing concrete**: Concrete repair, rehabilitation and retrofitting II. Netherlands: Eitora In MG Alexander, H-D Beushausen, F Dhen & P Moyo, 2009. p 215- 220.

JONKERS, Henk M. et al. Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. **Ecological engineering**, [S.I.], v. 36, n. 2, p. 230-235, fev.2010.

KIRLEY, J. Epoxy injection is major component of Pittsburgh Airport Parking structure strengthening project, **Concrete Repair Bulletin**, [S.I.], v.12, n.5, p. 16-17, set./out.1999.

KOTA, Krishna Priya et al. Bioconcrete Enhancement from Biofilm Producing Marine Bacterium. **Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res**, [S.I.], v. 25, n. 2, p. 276-279, 2014.

KRETZER, G. S. **Bioconcreto – O Concreto que ganhou vida**. Publicado em outubro 2016. Disponível em: < <http://pet.ecv.ufsc.br/2016/10/bioconcreto-o-concreto-que-ganhou-vida/> >. Acesso em 05 jun. 2017.

MEHTA, P. Kumar. Advancements in concrete technology. **Concrete International**, Farmington Hills, v. 21, n. 6, p. 69-76, 1999.

Ramachandran SK, Ramakrishnan V, Bang SS. Remediation of concrete using microorganisms. **ACI Materials Journal**, Farmington Hills, v.98, n.1, p.3-9, Jan. /fev. 2001.

Ramakrishnan, V.; Panchalan, R.K.; Bang, S.S. **Improvement of concrete durability by bacterial mineral precipitation**. Publicado em Janeiro 2001. Disponível em: < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.965.9905&rep=rep1&type=pdf> > Acesso em: 25 maio 2017.

RODRIGUEZ-NAVARRO, Carlos et al. Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus*-induced carbonate biomineralization. **Applied and Environmental Microbiology**, [S.I.] v. 69, n. 4, p. 2182-2193, 2003.

SAGRIPANTI, Jose-Luis; BONIFACINO, Aylin. Comparative sporicidal effects of liquid chemical agents. **Applied and environmental microbiology**, [S.I.], v. 62, n. 2, p. 545-551, 1996.

SCHLEGEL, Hans G. **General microbiology**. 7 ed. EUA: Editora Cambridge University Press, 1993. 843p.

Seifan, M., Samani, A.K. & Berenjian, A. **Bioconcrete: next generation of self-healing concrete**. Publicado em 29 January 2016. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-016-7316-z> >. Acessado em: 10 jun. 2017.

Stocks-Fischer S, Galinat JK, Bang SS, “Microbiological precipitation of CaCO₃”, **Soil biology and Biochemistry**, [S.I.], v. 31, n.11, p.1563-1571, 1999.

VAN TITTELBOOM, Kim et al. Self-healing efficiency of cementitious materials containing tubular capsules filled with healing agent. **Cement and Concrete Composites**, [S.I.], v. 33, n. 4, p. 497-505, 2011.

VAN TITTELBOOM, Kim et al. Use of bacteria to repair cracks in concrete. **Cement and Concrete Research**, [S.I.], v. 40, n. 1, p. 157-166, 2010.