

**VITOR MENDES DE CARVALHO**

**Inovações tecnológicas do concreto: análise do cenário atual e expectativas**  
da construção civil

**Vitor Mendes de Carvalho**

**Inovações tecnológicas do concreto: análise do cenário atual e expectativas  
da construção civil**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Isabel Cristina de Barros Trannin

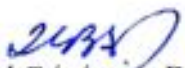
Guaratinguetá - SP  
2020

C331i	Carvalho, Vitor Mendes de Inovações tecnológicas do concreto: análise do cenário atual e expectativas da construção civil / Vitor Mendes de Carvalho – Guaratinguetá, 2020. 43 f. : il. Bibliografia : f. 41-43  Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020. Orientadora: Prof <sup>ª</sup> Dr <sup>ª</sup> . Isabel Cristina de Barros Trannin  1. Materiais de construção. 2. Concreto. 3. Construção civil. I. Título.
-------	---

CDU 691


**VITOR MENDES DE CARVALHO**


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL"  
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

  
Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Profª Drª Isabel Cristina de Barros Trannin  
Orientadora/UNESP-FEG

  
Prof. MSc. Douglas Andrini Edmundo  
UNESP-FEG

  
Profª Drª Raquel Regina Martini Paula Barros  
UNESP/FEG

Outubro de 2020

## **DADOS CURRICULARES**

### **VITOR MENDES DE CARVALHO**

**NASCIMENTO** 26.03.1996 – Santos/SP

**FILIAÇÃO** Antonio Manoel Lopes de Carvalho  
Maria de Lourdes Gaspar Mendes de Carvalho

**2015/2020** Curso de Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Campus de Guaratinguetá.

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre foram minha base, deram tudo para que eu estivesse aqui neste momento e me apoiaram, incondicionalmente, durante todo o período da minha graduação.

Por isso, serei eternamente grato.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Manoel e Lourdes, meus maiores amigos e parceiros durante toda esta jornada que foi a vida e formação universitária, que sempre me apoiaram nos bons e maus momentos, educaram-me da melhor maneira possível e me deram toda a base necessária, indispensáveis para esta conquista. Pelo constante incentivo, amor, presença e confiança depositada em todas as etapas da minha vida.

Aos meus irmãos Daniel e Luiza e minha prima Juliana, meus maiores companheiros durante toda a minha vida, que sempre me apoiaram durante toda a minha formação e durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Isabel Cristina de Barros Trannin, pela pronta aceitação em orientar o desenvolvimento deste trabalho, por todas as críticas que contribuíram para que este trabalho de conclusão de curso fosse possível, por todo o apoio nos momentos difíceis, quando pensei em desistir, e pela confiança depositada em mim, serei eternamente grato.

Agradeço a todos os professores da Unesp, *campus* de Guaratinguetá, que contribuíram para minha formação profissional e crescimento pessoal.

A República 6 de Paus, e todos que durante meus 6 anos de formação acadêmica, passaram por lá, agradeço por todo o apoio nos momentos mais difíceis e aprendizado adquirido fora do ambiente acadêmico, levarei vocês por toda a minha vida.

A todos os amigos que fiz na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, que me ajudaram durante toda minha graduação, e tornaram o ambiente universitário mais leve, levarei vocês para o resto da minha vida.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem.  
Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”

(Walter S. Landor)

## RESUMO

A indústria da construção civil está sempre se reinventando, desenvolvendo novas técnicas e materiais, com o intuito de otimizar o trabalho dos profissionais do setor, beneficiar os consumidores e gerar benefícios econômicos. No caso do concreto, que é onipresente nas obras de construção civil, é natural que esse material seja foco de pesquisas, que visem melhorar suas propriedades. Este trabalho teve como objetivo apresentar algumas inovações tecnológicas do concreto desenvolvidas no mercado internacional, como a lona de concreto, o bioconcreto, o concreto purificador de ar e o concreto translúcido e analisar questões relacionadas às necessidades de atendimento às normas e as expectativas do setor de construção civil brasileiro. Neste aspecto, é necessário que cada inovação do concreto seja avaliada para a função estrutural ou não estrutural desejada, para que atenda as diferentes normas que regem este material no mercado brasileiro. Além da necessidade de atendimento às normas, constatou-se que estas inovações ainda possuem um custo elevado e incompatível com o mercado brasileiro que, em alguns casos, chegam a valores sete vezes superior ao do concreto tradicional, utilizado no mercado da construção civil nacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Materiais de construção civil. Inovações na construção. Bioconcreto. Lona de concreto. Concreto purificador de ar. Concreto translúcido.

## **ABSTRACT**

The construction industry is constantly evolving, developing new techniques and materials in order to optimize the work of professionals, benefit consumers and generate economic benefits. In the case of concrete, which is omnipresent in construction works, it is natural that this material is the focus of research aimed at improving its properties. This paper aimed to present some technological innovations of concrete developed in the international market, such as concrete canvas, biological concrete, air purifying concrete and translucent concrete and analyze the needs to meet the standards and expectations of the Brazilian construction industry. In this regard, it is necessary that each concrete innovation be evaluated for the desired structural or non-structural function, so that it meets the different rules governing this material in the Brazilian market. In addition to the need to comply with the standards, it was found that these innovations still have a high cost and incompatible with the Brazilian market that, in some cases, reach values seven times higher than the traditional concrete used in the national construction market.

**KEYWORDS:** Building materials. Innovations in construction. Bioconcrete. Concrete canvas. Light-transmitting concrete. Concrete pavement with TiO<sub>2</sub>.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução dos Lançamentos Imobiliários nos últimos 30 meses .....	17
Figura 2 – Concreto em seu estado plástico .....	18
Figura 3 – Lona de concreto aplicada na proteção de taludes .....	19
Figura 4 – Concreto Translúcido .....	20
Figura 5 – Bioconcreto: Fechamento das fissuras através do $\text{CaCO}_3$ .....	22
Figura 6 – Representação esquemática dos tipos de ruptura .....	27
Figura 7 – Disposição do Corpo de Prova .....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de cimento e taxa de variação anual no Brasil, no período de 2009 a 2018.....	17
Tabela 2 – Classes de Consistência do Concreto .....	25
Tabela 3 – Número de Camadas para Moldagem do Corpo de Prova no Ensaio de Compressão Simples .....	25
Tabela 4 – Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura do Corpo de Prova .....	26
Tabela 5 – Variação do PIB da Construção Civil nos últimos 6 anos.....	31
Tabela 6 – Variação da Produção de Insumos Típicos da Construção Civil nos últimos 12 meses.....	32
Tabela 7 – Inovações do Concreto e Suas Aplicações .....	34
Tabela 8 – Normas Internacionais e Brasileiras para as diferentes funções das inovações do concreto.....	37

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABCR	Associação Brasileira das Concessionárias de Rodovias
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
PIB	Produto Interno Bruto
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria da Construção
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de Titânio
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	166
3.1	CENÁRIO DE USO DO CONCRETO E PERSPECTIVAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	16
3.2	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS DO CONCRETO.....	18
<b>3.2.1</b>	<b>Lona de Concreto</b> .....	18
<b>3.2.2</b>	<b>Concreto Translúcido</b> .....	20
<b>3.2.3</b>	<b>Bioconcreto</b> .....	21
<b>3.2.4</b>	<b>Concreto Purificador de Ar</b> .....	22
3.3	NORMAS TÉCNICAS PARA CONCRETO .....	24
<b>3.3.1</b>	<b>Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova</b> .....	24
<b>3.3.2</b>	<b>Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos</b> .....	26
<b>3.3.3</b>	<b>Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de prova Cilíndricos</b> .....	27
<b>3.3.4</b>	<b>Projeto de Estrutura de Concreto</b> .....	28
<b>3.3.5</b>	<b>ABNT/DNIT – Manual de Pavimento Rígido</b> .....	28
3.4	NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS PARA CONCRETO .....	29
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	31
5.1	CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	31
5.2	APLICAÇÃO DAS INOVAÇÕES DO CONCRETO NO BRASIL.....	33
5.3	INOVAÇÕES DO CONCRETO E ATENDIMENTO ÀS NORMAS BRASILEIRAS .....	36
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil está sempre se reinventando, desenvolvendo inovações tecnológicas e aperfeiçoando seus materiais, para atender a demanda do mercado, cada vez mais exigente em produtos inteligentes, mais sustentáveis e com características e aplicações diversificadas. Como o concreto é um material fundamental para a maioria dos projetos de construção civil, estudos visando a melhoria de suas propriedades e que ampliem suas aplicações são imprescindíveis. Pensando na durabilidade e na resistência do material, pesquisadores têm desenvolvido técnicas inovadoras de produção de concreto, que já estão em uso no mercado internacional e que podem ser aplicados também no Brasil, após a avaliação do desempenho e atendimento às normas brasileiras.

Lima et al. (2013) definem concreto como um composto originado da mistura de pelo menos um aglomerante, no caso, o cimento e, também, água, pedra e areia, além de outros materiais eventuais, os aditivos. A mistura da água com o cimento gera uma pasta de fácil trabalhabilidade, que se agrega aos demais materiais e, a partir da solidificação, ocorre redução os espaços vazios em sua composição, garantindo a resistência mecânica e dificultando a penetração de agentes corrosivos no material.

O concreto possui grande aplicabilidade em todo o mundo, podendo ser encontrado em diferentes tipos de construções, desde casas de alvenaria comuns, até torres de resfriamento e usinas hidrelétricas, todas vitais para o desenvolvimento socioeconômico. Portanto, é de suma importância que a indústria do concreto esteja sempre se adaptando e se inovando, para atender a demanda do mercado, desenvolvendo técnicas que otimizem os processos construtivos e, ao mesmo tempo, diminuam os impactos diretos e indiretos, que sua produção causa ao meio ambiente.

Segundo Doug Darling (2017), o mercado do concreto possui a expectativa de continuar crescendo até o ano de 2023, alavancado pelo desenvolvimento das denominadas cidades inteligentes e da indústria do concreto. Diante desta perspectiva, os grandes produtores de concreto vêm dando extrema importância ao desenvolvimento de novas tecnologias para o seu produto, mantendo-se no domínio do mercado e adequando-se ao crescimento sustentável, defendido pelos órgãos reguladores e grandes empresas do setor.

Entre as inovações, podem ser citadas as lonas de concreto, aplicadas em contenção de encostas; os concretos translúcidos, nos quais as fibras ópticas integradas fazem a liberação da entrada de luz nos espaços, havendo menor consumo de energia elétrica; o concreto purificador de ar; o concreto biológico, entre outras tecnologias aplicadas ao concreto e

utilizadas no mercado internacional, que serão abordadas neste trabalho e que serão avaliadas quanto ao potencial de atendimento às normas e às expectativas do mercado de construção civil brasileiro.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Apresentar algumas inovações tecnológicas do concreto desenvolvidas pelo mercado internacional e analisar sua aplicabilidade quanto ao atendimento às normas e as expectativas do setor de construção civil brasileiro.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar inovações tecnológicas do concreto desenvolvidas pelo mercado internacional para atender diferentes funções em obras de construção civil;
- Analisar entre as inovações do concreto as que apresentam potencial de aplicação e atendam as normas e expectativas da indústria da construção civil brasileira;
- Gerar informações sobre algumas inovações do concreto e sobre o cenário atual e necessidades do mercado brasileiro da construção civil para a modernização e aumento da competitividade neste setor.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CENÁRIO DE USO DO CONCRETO E PERSPECTIVAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O concreto é o material mais utilizado na indústria da construção civil no Brasil e no mundo, estando presente em 90% das construções realizadas em nosso território, segundo dados da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (Falcetta, 2017). O desenvolvimento da indústria da construção civil esteve intimamente conectado com o desenvolvimento econômico global no último século, bem como ao desenvolvimento dos países emergentes no século XXI. Van Damme (2018) destacou que estes países vêm passando por uma constante mudança na infraestrutura para manter seus Produtos Internos Brutos (PIBs) e continuar crescendo economicamente. Segundo Lima (2013), o concreto se destaca em relação aos demais materiais da construção civil devido a dois fatores:

- Resistência à água: Diferente dos demais materiais existentes no mercado, como madeira e aço, o concreto é menos atacado pela água, visto que este líquido está presente em sua composição, garantindo aplicabilidade do concreto em paredes externas, por exemplo, sem a necessidade de ser submetido a tratamentos especiais, que encarecem a construção;

- Baixo custo e fácil acesso: Os materiais que compõem o concreto (água, areia, brita e cimento) são amplamente disponibilizados no mercado brasileiro e comercializados a preços acessíveis.

A indústria do cimento, principal composto do concreto, responsável por fornecer resistência a elevadas cargas de compressão, vem passando por uma gradual recuperação após sofrer com a crise que afetou o setor da construção civil nos últimos anos. Na Tabela 1 são apresentados os dados disponibilizados pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), sobre o consumo de cimento em toneladas comercializadas e a taxa de variação anual de consumo em todo o território nacional até 2018, evidenciando a queda do mercado da construção nos últimos anos, devido à crise vivenciada pela economia brasileira.

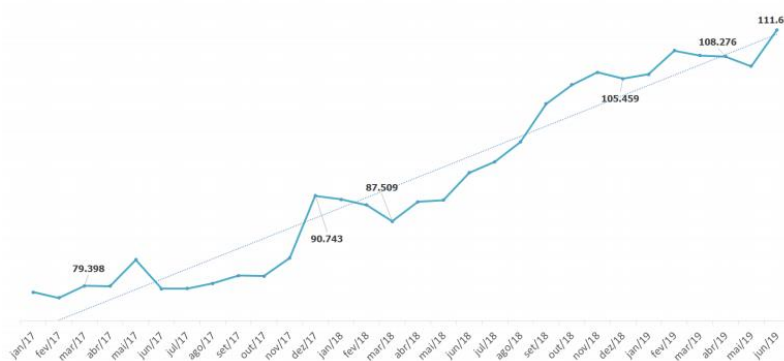
Tabela 1 - Consumo de cimento e taxa de variação anual no Brasil, no período de 2009 a 2018.

Ano	Toneladas	Varição Anual (%)
2009	51.669.850	0,35%
2010	60.007.980	16,14%
2011	64.971.753	8,27%
2012	69.323.633	6,70%
2013	70.974.211	2,38%
2014	71.702.803	1,03%
2015	65.380.249	-8,81%
2016	57.600.000	-11,9%
2017	53.542.510	-7,04%
2018	52.939.934	-1,2%

Fonte: Adaptado dos dados da SNIC (2019).

Entretanto, segundo dados divulgados pelo SNIC (2019), foi registrado um aumento de 1,3% na venda de cimento no primeiro trimestre de 2019, comparada ao mesmo período do ano de 2018, chegando a valores de 12,7 milhões de toneladas, como consequência, principalmente, do crescimento no número de lançamentos imobiliários no mercado nacional. Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2019), a indústria imobiliária nacional tem crescido exponencialmente, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Evolução dos lançamentos imobiliários no Brasil, nos últimos 30 meses

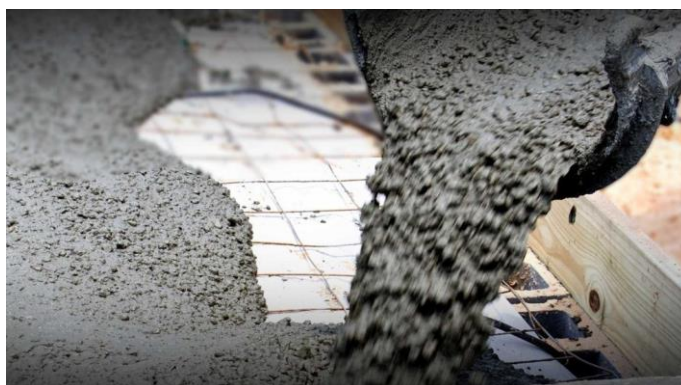


Fonte: CBIC (2019).

Embora o concreto não seja o material mais resistente da construção civil, algumas características possibilitam sua ampla difusão e utilização, devido, principalmente, à

versatilidade, durabilidade, baixo custo e ser menos nocivo à ação da água (Falcetta, 2017). Na Figura 2 pode ser observada a fácil trabalhabilidade que o concreto apresenta em seu estado plástico, garantindo o manuseio antes da solidificação e a resistência à compressão desejada, propriedade utilizada para o dimensionamento da aplicação deste material.

Figura 2 – Concreto em seu estado plástico.



Fonte: Tecnosil (2018).

A indústria da construção civil possui a expectativa de que o crescimento estimado pela CBIC (2019) permaneça nos próximos anos, considerando a redução das taxas de financiamento bancário para a compra de apartamentos oferecido pela Caixa Econômica Federal, de 7,5 para 6,75%, além da geração de empregos pela indústria da construção civil, que foi responsável por mais de 20% do total gerado no ano de 2019 (SINDUSCON-SP, 2019).

### 3.2 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS DO CONCRETO

As inovações da indústria da construção civil registradas na última década têm subsidiado a modernização, a produtividade, a competitividade e a qualificação do setor, sendo imprescindíveis para a conquista e a manutenção deste setor. Algumas inovações tecnológicas do concreto, que já possuem aplicação internacional, são apresentadas a seguir.

#### 3.2.1 Lona de Concreto

Desenvolvida por dois engenheiros pesquisadores do Imperial College of London (Peter Brewin e Will Crawford), a lona de concreto é um tecido de pó de cimento flexível, que se

solidifica após a hidratação, formando uma fina camada de concreto, que é durável e à prova de água e fogo (Hui et al., 2016).

Segundo Zhang (2017), a lona de concreto é um material que possui grande aplicabilidade na construção civil e militar, devido ao fato de ser um composto de construção rápida, baixo custo para qualificação da mão de obra e rápido desenvolvimento de resistência à compressão. No entanto, devido a sua baixa resistência à tração seu uso é limitado à proteção de taludes e em estruturas de muros de contenção (Hui et al., 2016), como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Lona de concreto aplicada na proteção de taludes.



Fonte: Alves (2017).

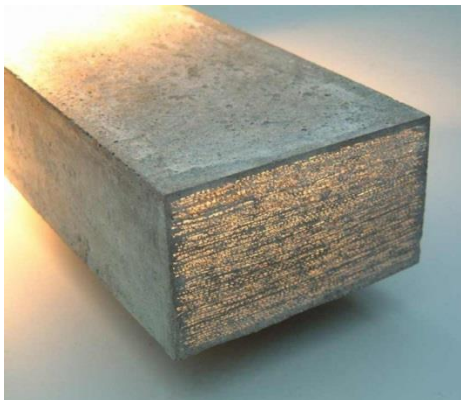
Por outro lado, estudos têm indicado que o emprego de reforço externo no material, com chapas de polímero reforçado com fibras pode melhorar, significativamente, o comportamento desta estrutura, quanto à resistência à tração (ZHANG, 2017). A lona de concreto pode ser utilizada como estrutura de contenção, em altura entre 3 e 10m, desde que mantenha espaçamento entre 0,5 a 1,0 m (HUI et al., 2016). Entretanto, esta estrutura possui elevado deslocamento horizontal (20 mm a 6m de altura), evidenciando a necessidade de uso de um reforço com alta rigidez para que possa ser aplicada. Fangyu et al. (2015) avaliaram o desempenho da lona de concreto, substituindo parte do cimento utilizado no concreto por anidrita em 4 diferentes concentrações, visando obter informações sobre a resistência mecânica do material. Os autores verificaram que, quanto mais fina a lona ou quanto maior a quantidade de anidrita em sua composição, mais rápido foi o tempo de pega do material, entretanto, sua resistência mecânica apresentou uma pequena diminuição após estar completamente endurecido.

Idealizada inicialmente para uso militar, esta tecnologia tem sido atualmente aplicada em estruturas como forro para valas, contenção de encostas, muro de gabião, terraplanagens, entre outros. Devido ao fato de ainda não ser amplamente difundido no Brasil, o material ainda é dominado por algumas empresas, que chegam a cobrar o valor de R\$ 25.000,00 cada unidade de 200m do material (ALVES, 2017). Entretanto, a lona de concreto, é um material de aplicação em expansão e, segundo a Organização detentora da patente da Lona de Concreto – “Concrete Canvas Organization” – sua tecnologia já foi vendida para mais de 80 países em todo o mundo, incluindo três regiões diferentes no Brasil.

### 3.2.2 Concreto Translúcido

Desenvolvido pelo arquiteto húngaro Áron Losonczy em sua pós-graduação, esta “reinvenção da fórmula do concreto mistura fibras de vidro com pedras trituradas, cimento e água, sem que haja perda de resistência e garantindo menos infiltrações e rachaduras” (Figura 4).

Figura 4 – Concreto Translúcido



Fonte: Marcos (2016).

Bashbash et al. (2013) definiram o concreto translúcido como sendo um material desenvolvido para transmitir luz, pela utilização de fibras óticas de plástico. Taneja et al. (2018) descreveram o concreto translúcido como sendo uma mistura de fibra ótica, cimento, água e areia, com função principal de utilizar a luz solar como fonte energia e reduzir o consumo de energia elétrica, sendo utilizado em soluções arquitetônicas e design de interiores em estruturas.

Poornima et al. (2019) avaliaram a resistência à tração e compressão do concreto translúcido e verificaram que esta inovação apresentou praticamente o mesmo comportamento

que o concreto convencional, mesmo com a introdução da fibra ótica em sua estrutura. De acordo com estes autores, este material representa um grande avanço para a arquitetura moderna. Conforme reportagem da Gazeta do Povo (2017), embora este material tenha sido desenvolvido fora do Brasil, foi em nosso país que ganhou agilidade, principalmente pelos estudos desenvolvidos na Universidade do Vale do Rio dos Sinos, onde o processo de fabricação deste material foi avaliado pela equipe do professor Bernardo Tutikian. Neste processo o concreto e as fibras óticas foram misturados aleatoriamente, de tal forma a agilizar a concretagem mantendo uma distribuição randômica. Depois que o concreto se solidifica, é cortado em blocos na espessura desejada, metodologia muito mais rápida do que a desenvolvida no exterior.

Segundo Santos (2017), da empresa Cimento Itambé, embora exista uma grande aceitação do concreto translúcido por engenheiros e arquitetos, os pesquisadores de nosso país precisam de empresas que estejam dispostas a investir no trabalho de desenvolvimento deste material. Devido ao pouco investimento na produção em larga escala, o concreto translúcido chega a custar R\$ 3.000,00 m<sup>-2</sup> que, se comparado ao concreto tradicional, na mesma proporção, custa em torno de R\$ 500,00, sendo a economia superior a 80%.

### 3.2.3 Bioconcreto

Seifan et al. (2016) definem o concreto como um material com alta tendência a formar rachaduras, processo catalisado pelos diferentes meios nos quais se encontram. Estas trincas reduzem significativamente a vida útil do concreto, elevando seu custo devido à necessidade de reposição ou recuperação. Segundo estes mesmos autores, para sanar estas trincas, existem processos como a aplicação de produtos químicos e polímeros, que por suas características, causam impactos ambientais. Neste sentido, o bioconcreto é constituído por bactérias de autocura que produzem carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), as quais preenchem estas fissuras e não permitem a formação de vazios no material.

Segundo o cientista Holândes Henk Jonkers (2016), o concreto tradicional é misturado com colônias de bactérias *Bacillus pseudofirmus*, as quais podem habitar ambientes hostis como crateras de vulcões, e podem sobreviver mais de 200 anos nas paredes de um edifício. Na Figura 5 pode ser observado o processo de fechamento destas fissuras pela produção de carbonato de cálcio por bactérias.

Figura 5 – Fechamento de fissuras em bioconcreto pela produção de carbonato de cálcio por bactérias.



Fonte: Alves (2017).

Segundo Ghosh et al. (2006) o concreto contendo bactérias anaeróbicas da espécie *Escherichia coli* apresentou maior resistência à compressão que o concreto tradicional, como consequência da produção de  $\text{CaCO}_3$  nos poros da matriz areia-cimento, diminuindo o índice de vazios presentes no material.

Ghosh et al. (2006) ensaiaram o bioconcreto com proporções variando entre 0 e  $10^7$  do células de bactérias  $\text{mL}^{-1}$  de água, até atingir o ponto máximo de resistência à compressão, obtida com a proporção de  $10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$  de água. Estes autores também avaliaram a aplicação de células de coliformes fecais no concreto, mas estas bactérias não contribuíram para o aumento da resistência à compressão do concreto.

Durga et al. (2019) avaliaram a resistência mecânica e a durabilidade do bioconcreto após 28 dias de cura, por meio de ensaios de compressão, tração e flexão e testes de absorção de água e de sensibilidade. Com relação a resistência aos esforços mecânicos, o estudo revelou que o bioconcreto aumentou sua resistência à compressão em 22%, à tração em 16% e à flexão em 11%, quando comparados ao concreto tradicional. Os autores também verificaram que a presença das bactérias aumentou a durabilidade do concreto.

### 3.2.4 Concreto Purificador de Ar

A poluição atmosférica é um problema ambiental, que vem chamando a atenção de especialistas no mundo inteiro. Pesquisadores vêm buscando soluções para o constante aumento das emissões atmosféricas geradas pelas atividades econômicas e o desenvolvimento de materiais com um ciclo de vida, que permita o máximo de ciclagem e diminuam os impactos ambientais. No setor de construção civil, muitos cientistas vêm desenvolvendo pesquisas sobre a adição de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) em estruturas de argamassas asfálticas,

visando diminuir a concentração de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) na atmosfera. Neste aspecto, Melo (2012) desenvolveu um estudo sobre a fabricação de peças pré-moldadas de concreto, por meio da incorporação de diferentes concentrações de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) na argamassa de superfície de concreto utilizado em pavimentação rodoviária. Além da variação de concentração da substância, o estudo avaliou diversos fatores externos, como a incidência de raios ultravioleta nas amostras, a variação da espessura de óxidos de nitrogênio na argamassa, e como a sua concentração interferiu na reação química com o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), além de diferentes valores de umidade relativa do ar e de taxa de fluxo. Os resultados obtidos apontaram uma grande eficiência das peças fotocatalíticas na degradação dos óxidos de nitrogênio, podendo alcançar um consumo de até  $68,6 \text{ mg hora}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de  $\text{NO}_x$ . Se utilizarmos como exemplo, a rodovia Presidente Dutra, que, segundo a Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, possui uma extensão de 402 km e uma largura média de 12 metros e considerarmos sua pavimentação com a adição de  $\text{TiO}_2$ , é possível a redução da concentração de  $\text{NO}_x$  na atmosfera da ordem de  $330 \text{ kg h}^{-1}$ .

Guan et al. (2009) desenvolveram um estudo, com base em análises prévias sobre a ação descontaminante de veículos automotivos por meio do dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), visando a otimização deste composto, aliado ao surfactante Cloreto de alquil-trimetilamina, utilizando-se da tecnologia de permeabilidade, visando a redução da contaminação gerada no tráfego de uma rodovia. Para isso foram avaliadas diferentes concentrações do dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e do surfactante, até a saturação completa do  $\text{TiO}_2$  no composto, em que a troca de gases com o ambiente deixa de ocorrer, sendo obtidas as concentrações ótimas de 5% de  $\text{TiO}_2$  e de 3% para o surfactante.

Além da aplicação do concreto purificador de ar em pavimentação, Folster (2015) avaliou a adição de nanopartículas de dióxido de titânio (nano- $\text{TiO}_2$ ) em argamassas comerciais, amplamente utilizadas na indústria de construção civil, quanto às propriedades físicas e mecânicas das argamassas, como densidade, absorção de água, retração, porosidade e resistência à compressão. As análises foram realizadas seguindo as metodologias estabelecidas pelas normas da ABNT para cura e dosagem de corpos de prova, mantendo a trabalhabilidade do composto após a adição de nanopartículas de dióxido de titânio (nano- $\text{TiO}_2$ ) por meio da adição de água. Este autor verificou a redução da densidade aparente das argamassas com o aumento da concentração de nano- $\text{TiO}_2$ , enquanto a porosidade, a absorção de água e a retração aumentaram. Quanto às propriedades mecânicas, como a resistência à compressão, os valores diferiram em menor escala do que em relação às propriedades físicas do material.

Hassan et al. (2010) avaliaram a durabilidade e a resistência ao desgaste do dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), quando aplicado em revestimento de estruturas antes e após o contato com óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), com simulações de desgaste à abrasão em ensaios laboratoriais. Os autores verificaram que o  $\text{TiO}_2$  em concentração de 3% melhorou a eficiência de remoção do  $\text{NO}_x$ , e que a concentração de 5% diminuiu a capacidade de remoção de  $\text{NO}_x$ . Estes resultados indicaram que o  $\text{TiO}_2$  possui resistência ao desgaste e durabilidade aceitáveis e, portanto, pode ser usado como composto fotocatalítico em materiais de construção civil como concreto e argamassa, visando a redução de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) na atmosfera.

### 3.3 NORMAS TÉCNICAS BRASILEIRAS PARA CONCRETO

No Brasil, existem diversas normas técnicas instituídas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que estabelecem requisitos básicos e protocolos para desenvolvimento de ensaios, que garantam a aplicação segura de diferentes tipos de materiais com diversas finalidades, visando o atendimento da indústria da construção civil. Neste trabalho, foram consideradas cinco normas técnicas, essenciais para a análise das diversas propriedades das inovações do concreto, para que estas possam ser utilizadas na indústria da construção civil brasileira: NBR 5.738:2015 - Concreto – Procedimento para Moldagem e cura de corpos de prova; NBR 5.739:2018 - Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos; NBR 7.222:2011 - Concreto e Argamassa – Determinação da Resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos; NBR 6.118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto e a norma ABNT/DNIT - Manual de Pavimento Rígido.

#### 3.3.1 Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova

A norma NBR 5.738:2015 prescreve o procedimento para a moldagem e a cura dos corpos de prova do concreto. De acordo com esta norma, o formato dos corpos de prova deve ser cilíndrico ou prismático, conforme molde previamente estabelecido, em material que não reaja com o cimento ou qualquer outro componente do concreto, para que o material não perca suas características durante o tempo de cura. A moldagem deve ser realizada seguindo os padrões estabelecidos por esta norma, para tamanho de haste e tamanho do corpo de prova conforme o diâmetro do agregado graúdo.

Antes de iniciar a moldagem, deve ser realizado o ensaio de abatimento, seguindo a norma NBR NM 67, para enquadramento em uma das classes de consistência, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de consistência do concreto

Classe	Abatimento (mm)	Método de Adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou Manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

Fonte: ABNT NBR 5738 (2015).

Após a preparação dos materiais e ensaio de abatimento, o concreto é vertido dentro do molde em diferentes camadas, atendendo ao número de camadas para moldagem do corpo de prova no ensaio de compressão simples, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Número de camadas para moldagem do corpo de prova no ensaio de compressão simples

Tipo de Corpo de Prova	Dimensão básica (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de Golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 <sup>a</sup>	3	-	-

<sup>a</sup> Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Fonte: ABNT NBR 5738 (2015).

O Procedimento de moldagem do corpo de prova é simples. Após estes cálculos, adiciona-se o número de camadas, em igual volume, no molde do corpo de prova, golpeando e adensando o material, sem que a haste toque a camada adensada previamente. Finalizado este processo, faz-se o rasamento do excesso de concreto acima do nível do molde, deixando-o pronto para o início do processo de cura. Após 24 horas de repouso para corpos de prova

cilíndricos e 48 horas para prismáticos, os materiais são imersos em câmara úmida, devendo permanecer sempre nas mesmas condições até que sejam retirados para que sejam feitos os devidos ensaios.

### 3.3.2 Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos

A norma 5739:2018 determina os procedimentos a serem adotados para o mais importante ensaio sobre materiais de concreto, que é o Ensaio de compressão. Para isto, em primeiro lugar, deve-se ter um equipamento que permita fazer a compressão gradual do material, e alguns parâmetros devem ser atendidos como: o prato deve se deslocar de maneira perpendicular ao eixo do corpo de prova, comprimindo o mesmo exatamente no ponto central do material; deve ser acionada uma fonte estável de energia, para evitar mudanças bruscas de energia ou impactos no material; o equipamento deve possuir meios para ajustar os pratos de compressão, de modo que a força seja aplicada uniformemente no material.

O ensaio de compressão deve ser realizado após um período de tempo específico da moldagem e posterior colocação do material em cura, considerando os períodos de cura apresentados na Tabela 4.

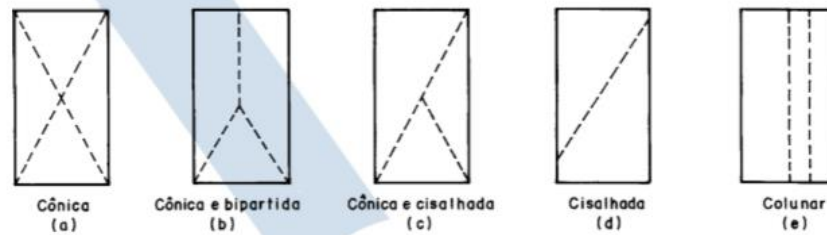
Tabela 4 – Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade de ruptura do corpo de prova.

Idade de Ensaio	Tolerância Permitida
24 h	± 30 min ou 2,1%
3 d	± 2 h ou 2,8%
7 d	± 6 h ou 3,6%
28 d	± 20 h ou 3,0%
60 d	± 36 h ou 2,5%
90 d	± 2 d ou 2,2%

Fonte: ABNT NBR 5739 (2018).

Define-se a escala de força para o ensaio, considerando que o ideal é o rompimento ocorrer entre 10 e 90% destes valores. O corpo de prova curado é colocado entre os pratos e inicia-se o ensaio, com velocidade de carregamento variando de  $0,3 \text{ MPa s}^{-1}$  a  $0,8 \text{ MPa s}^{-1}$ , seguindo por toda a escala de forças, mesmo que o material tenha se rompido. Se o equipamento for analógico, os resultados podem ser apresentados junto ao gráfico tensão x deformação do material. Os resultados do ensaio devem conter as informações: data de moldagem e do ensaio; idade do corpo-de-prova; resistência à compressão em MPa (Aproximação de 0,1 MPa) e tipo de ruptura do corpo-de-prova, conforme representação esquemática da Figura 6.

Figura 6 – Representação esquemática dos tipos de ruptura dos corpos de prova de concreto em ensaio de compressão



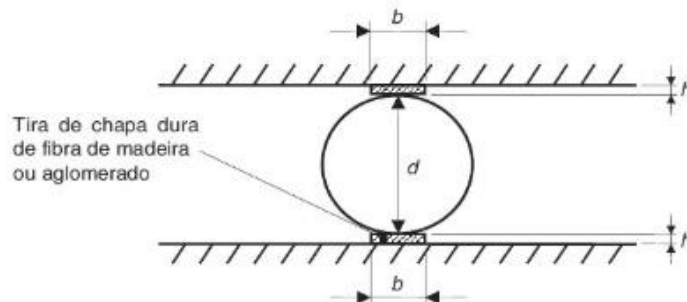
Fonte: ABNT NBR 5739 (2018).

### 3.3.3 Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos

A norma NBR 7222:2011, estabelece as diretrizes que devem ser adotadas, desde o tamanho do corpo de prova até a aparelhagem necessária, para o ensaio de compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, que fornece informação sobre a resistência à tração do material ensaiado. A aparelhagem é a mesma definida no ensaio de compressão, descrito anteriormente, podendo ser adicionados dispositivos auxiliares para facilitar o posicionamento do material, desde que não interfiram no resultado final do experimento.

Neste ensaio, é de suma importância que o aparelho possua pratos com diâmetro maior que o do corpo de prova, para que toda sua superfície toque o corpo de prova em seu eixo, de modo que a carga seja aplicada exatamente neste ponto, distribuindo sobre todo o material a carga aplicada. Ao início do ensaio, o material deve ser posicionado da maneira indicada na Figura 7.

Figura 7 – Posicionamento do corpo de prova cilíndrico de concreto em ensaio de compressão diametral



Onde:  $d$  = diâmetro do corpo de prova, em mm;  $b = (0,15 \pm 0,01) \cdot d$ ;  $h = 3,5 \pm 0,5$ , em mm.

Fonte: ABNT NBR 7222 (2011).

Após o procedimento de moldagem e cura do corpo de prova, o mesmo é retirado e preparado para o ensaio, tendo seu diâmetro medido nas duas extremidades e sendo seu valor definido pela média aritmética entre ambos. Para este ensaio, a relação máxima entre comprimento/diâmetro admitida é de 2/1.

Seguindo o mesmo procedimento do ensaio de compressão, o material deve ser submetido à uma carga crescente, sem choques, a uma velocidade de  $0,05 \pm 0,02 \text{ MPa s}^{-1}$ , até a ruptura do material. Ao final do ensaio, a resistência à tração por compressão diametral é calculada pela fórmula:

$$f_{ct, sp} = \frac{2F}{\pi d l}$$

Onde:

$f_{ct, sp}$ : é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em MPa;

F: é a força máxima obtida no ensaio, expresso em N;

D: é o diâmetro do corpo de prova, expresso em mm;

l: é o comprimento do corpo de prova, expresso em mm.

Após o cálculo da resistência à tração do concreto, o relatório final do ensaio deve conter as informações: procedência e quantidade de corpos de prova ensaiados; data de moldagem e do ensaio; idade dos corpos de prova; diâmetro e comprimento dos corpos de prova; força máxima aplicada; resistência à tração por compressão diametral individual.

### **3.3.4 Projeto de Estrutura de Concreto**

A norma NBR 6118:2014 estabelece os valores mínimos exigidos para coeficiente de dilatação térmica para as diferentes classes do concreto, valor mínimo de cobrimento para diferentes usos e classes do concreto, seja ele armado, protendido ou simples, dentre outros fatores de extrema importância para o dimensionamento da estrutura desejada, para que o concreto possa ser utilizado na construção de edifícios, estradas, contenção de encostas, e outros fins. Após o devido preparo dos corpos de prova e realização dos ensaios de resistência à compressão e tração do concreto, é possível dimensionar as estruturas de concreto, como pilares, vigas, paredes estruturais, lajes, entre outras, conforme descrito na NBR 6118.

### **3.3.5 ABNT/DNIT – Manual de Pavimento Rígido**

O manual de pavimento do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em sua última alteração, realizada em 2005, é resultado da compilação de uma série de estudos, nacionais e internacionais, sobre a utilização do concreto na pavimentação de rodovias. Estes estudos visam informar sobre o comportamento dos materiais, suas características de resistência mecânica, as técnicas de inspeção dos defeitos dos pavimentos e os resultados da avaliação destes defeitos.

Por meio dos ensaios descritos anteriormente, este manual define parâmetros, como a espessura de concreto que o pavimento deve ter, valores mínimos para a resistência mecânica do concreto, resistência à abrasão, entre outros fatores, que influenciarão diretamente na escolha do pavimento de uma estrada e na aplicação, ou não, de uma nova estrutura no pavimento, tal como a adição de  $TiO_2$  em sua composição.

### 3.4 NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS PARA CONCRETO

No Mercado Internacional, existem uma infinidade de Normas Técnicas instituídas pelos mais diversos órgãos reguladores de seus países. Como comparação às Normas Brasileiras, traremos as normas técnicas da ASTM – agência mais respeitada no cenários de Normas Técnicas no mercado Internacional – para comparar as Normas e ensaios brasileiros às normas e ensaio já utilizadas, à título de base mínima exigida, para estas Inovações Tecnológicas tenham aplicação no mercado internacional. Para isto, trataremos da ASTM E9: 2019 - Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature; ASTM D3967: 2008 - Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens; e sobre a AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials, tratando sobre as pavimentações no mercado internacional.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente esse trabalho foi fundamentado pela contextualização do concreto como o material de construção civil mais utilizado no Brasil desde a sua concepção, passando por inúmeras crises e retomadas de crescimento e melhorias que este material tem passado ao longo da história da indústria da construção civil. Dados como a variação do consumo de cimento e a oferta de empreendimentos imobiliários foram apresentados, para contextualizar a indústria da construção nacional, tendo o concreto como o principal material utilizado.

Posteriormente, foi realizada uma revisão da literatura internacional, visando identificar as principais inovações tecnológicas do concreto desenvolvidas e utilizadas pelo mercado internacional da construção civil nos últimos anos. Para isso, foram revisadas teses, dissertações e artigos técnicos e científicos sobre o tema.

Complementando esta revisão bibliográfica, foram consideradas algumas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que são de extrema importância para que as inovações do concreto possam ser ensaiadas e avaliadas antes de sua aplicação na indústria da construção civil nacional. As normas revisadas foram a NBR 5.738/2015: Concreto – Procedimento para Moldagem e cura de corpos de prova; NBR 5.739/2018: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos; NBR 7.222/2011: Concreto e Argamassa – Determinação da Resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos; NBR 6.118/2014: Projetos de Estruturas de Concreto; e ABNT/DNIT – Manual de Pavimento Rígido.

Posteriormente, foram analisadas as inovações do concreto empregadas no mercado internacional e suas respectivas normas, sendo estas, comparadas às normas brasileiras, visando verificar a possibilidade de aplicação das inovações tecnológicas internacionais em larga escala no mercado nacional.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com dados divulgados pelo IBGE, a indústria da construção civil apresentou sua primeira alta em 2019 desde 2013 (Valor Econômico, 2020). Essa alta ainda permanece inexpressiva, para considerar como retomada completa do mercado da construção nacional, entretanto, indica que esse setor vem dando sinais de melhora e a tendência é de crescimento nos próximos anos. A Tabela 5 apresenta a série histórica do Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil nos últimos 6 anos.

Tabela 5 – Variação do PIB da construção civil nos últimos 6 anos.

Ano	Variação do PIB da Construção Civil
2014	-2,1%
2015	-9,0%
2016	-10,0%
2017	-9,2%
2018	-3,8%
2019	+ 1,6%

Fonte: Adaptado de IBGE (2020).

Outra informação positiva sobre a retomada da indústria da construção civil é que, após 7 anos de estagnação, o número de empregos do setor atingiu seus maiores índices em outubro de 2019, conforme dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2020). Além disso, o índice de confiança do empresário da indústria da construção (ICEI-Construção) também apresentou crescimento, atingindo 62 pontos no mês de novembro de 2019, representando uma alta de 3,2 pontos em relação ao mês anterior e 8,4 pontos acima da média histórica deste índice, indicando a tendência de crescimento de empreendedores no setor da construção civil nos próximos anos.

A Tabela 6 apresenta a produção de insumos da construção civil, no período de junho de 2019 a maio de 2020, evidenciando uma queda brusca de produção no mês de abril de 2020, devido à pandemia da Covid-19, seguida de um leve aumento no mês de maio, com tendência à retomada do crescimento apresentado no início de 2020. A Tabela possui valores comparativos ao ano de 2012, tomado como base média para comparação dos Índices seguintes, parametrizado com o número 100. Isto indica que os números apresentados indicam que os valores trazidos na tabela são inferiores à média anual de 2012, período que

ficou conhecido como o “boom” da construção civil, potencializado, principalmente, pelo crescimento desenfreado do Programa Habitacional “Minha Casa, Minha Vida”.

Tabela 6 – Variação na produção de insumos da construção civil no período de junho de 2019 a maio de 2020.

Meses 2019 a 2020	Produção de Insumos Base: média de 2012 = 100
Junho	71,10
Julho	77,90
Agosto	79,90
Setembro	76,30
Outubro	80,10
Novembro	75,10
Dezembro	63,20
Janeiro	68,90
Fevereiro	69,10
Março	67,80
Abril	47,60
Maio	60,50

Fonte: Adaptado dos dados da CBIC (2020).

Atrelado à redução na produção de insumos da construção civil, ocorreu a diminuição na produção de aço laminado longo, com apenas 448 mil toneladas produzidas no mês de abril de 2020, com uma queda de mais de 54% comparada à produção do mês de março. Entretanto, assim como a produção de insumos da construção civil, o aço também voltou a ser mais produzido no mês de maio, com uma alta de 52% em relação ao mês de abril, segundo dados divulgados pela CBIC no mês de junho de 2020.

Portanto, a indústria da construção civil, que teve um longo período de queda no início desta década, e que vinha em franca recuperação nos últimos dois anos, acabou tendo seu crescimento refreado pela pandemia da Covid-19, assim como grande parte das indústrias nacionais. Entretanto, após o abatimento inicial, o setor vem dando sinais de uma franca e rápida retomada, visto que a produção de seus insumos já possuiu uma grande alta no mês de maio de 2020, conforme apresentado na Tabela 6. De acordo com Graziella Valenti (2020), grandes empresas do setor da construção civil brasileira estão abrindo seu capital da bolsa de valores da cidade de São Paulo, acreditando na breve retomada da indústria da construção civil nacional e expandindo suas operações, aumentando a geração de empregos, a atividade, o PIB e a produção de insumos da indústria da construção civil no mercado nacional.

Neste contexto, as inovações em concreto apresentadas neste trabalho são de fundamental importância para que esta retomada da indústria da construção civil nacional ocorra de maneira consciente, reduzindo os impactos gerados ao meio ambiente e atendendo

aos conceitos de otimização das construções, como o *Lean Construction*. O bioconcreto, por exemplo, pode ser utilizado na indústria da construção civil otimizando o consumo de material e minimizando o trabalho de restauração das estruturas após seu período de vida útil, reduzindo os custos da construção e as perdas de material no meio da obra, reduzindo o descarte inadequado de material. Por outro lado, o concreto translúcido, devido à sua capacidade de permitir a passagem de luz do ambiente externo para o interno, visa a economia de energia das futuras edificações através do conceito de construção *Green Building*, medida que pode garantir selos de certificação ambiental como as certificações LEED e AQUA. Da mesma maneira, o concreto purificador de ar reduz a emissão de poluentes atmosféricos nas estradas, conforme trabalhos desenvolvidos por Melo (2012). Desta maneira, se esta inovação for aplicada em edificações, sejam elas residenciais ou comerciais, acarretará em melhora da qualidade do ar nas áreas internas da construção, medida que também pode garantir selos de certificação ambiental.

## 5.2 APLICAÇÕES DAS INOVAÇÕES DO CONCRETO NO BRASIL

As diferentes inovações do concreto podem contribuir para o atendimento da demanda do mercado da construção civil nacional. Na tabela 7 são apresentadas as diferentes aplicações destes materiais no mercado de construção civil internacional e o respectivo potencial de uso no mercado brasileiro.

Entre as inovações consideradas neste trabalho, a lona de concreto é o material que tem sido mais aplicado no mercado internacional e possui grande potencial de atender o mercado brasileiro de construção civil, para uso em obras de contenção de encostas e em taludes de cortes de terra. Por ser um material de fácil manuseio e ser comercializado na forma em que é utilizado, sendo necessária apenas a mistura com água para facilitar sua trabalhabilidade, apresenta como vantagem a otimização do tempo de trabalho de campo, além de diminuir as perdas de material durante o preparo, que são comuns em obras com concreto tradicional. De acordo com Hui (2016) e Fangyu (2015), esse material pode ser armazenado por períodos maiores de tempo se comparados aos materiais tradicionais, sem risco de endurecimento e perda de trabalhabilidade. Neste aspecto, estes autores destacam entre as principais vantagens dos trabalhos com a lona de concreto, a maior durabilidade das estruturas que contam com este material em sua composição, do que estruturas com concreto estrutural ou sistema viga-pilar-laje e maior resistência às ações de intempéries, abrasão e fenômenos químicos; baixo custo para qualificar a mão de obra na utilização deste produto. Além disso, como este

material foi projetado inicialmente para usos militares, suas estruturas são muito mais resistentes a choques mecânicos do que o concreto tradicional (ZHANG, 2017).

Tabela 7 – Inovações do concreto, suas aplicações, vantagens e limitações.

Tipo de concreto	Aplicações Internacionais	Referência	Potencial de Aplicação no Brasil
Lona de concreto	Contenção de encostas	Hui (2016) Fangyu (2015)	Aplicação: Estrutura de reforço para redução dos deslocamentos laterais. Vantagens: rapidez e precisão na aplicação Limitação: alto custo.
	Construções militares	Zhang (2017)	Vantagens: Baixo custo com mão de obra e alta resistência à compressão. Limitação: baixa resistência à tração.
Concreto Translúcido	Soluções arquitetônicas para economia de energia	Poornima (2019)	Aplicação: Construções sustentáveis visando a redução do consumo de energia elétrica de ambientes no período diurno, como escritórios e museus. Vantagem: passagem de luz para o interior dos ambientes. Limitação: redução nas propriedades mecânicas e alto custo.
Bioconcreto	Regeneração de pontes Regeneração de paredes	Ghosh (2006) Durga (2019)	Aplicação: conservação e regeneração de prédios históricos, construção e preservação de pontes acima de mares, reduzindo a deterioração pelo efeito da água salgada. Vantagem: rapidez e precisão de aplicação do material, melhoria das propriedades mecânicas e durabilidade. Limitação: adaptação das bactérias ao clima.
	Pavimentação de estradas	Melo (2012) Quang (2009) Hassan (2010)	Aplicação: Pavimentação de diversas rodovias pelo Brasil, país onde o principal meio de locomoção de pessoas e cargas são as rodovias. Vantagens: redução da poluição atmosférica, manutenção das propriedades do concreto. Limitação: saturação com baixa concentração de TiO <sub>2</sub> .
Concreto Purificador de ar	Argamassas	Folster (2015)	Aplicação: Construção de ambientes hospitalares visando a qualificação do ambiente, evitando o agravamento de doenças respiratórias. Vantagem: manutenção das propriedades físicas das argamassas comuns. Limitação: aumento da densidade, redução das propriedades mecânicas desejáveis.

Fonte: Autor.

Por outro lado, devido à falta de divulgação e de conhecimento por parte dos profissionais do setor, ainda existe pouca demanda deste material na construção civil

brasileira e, como consequência, seu custo é muito elevado no mercado nacional, sendo sua fabricação dominada por poucas empresas em nosso país, onde cada unidade está na faixa de R\$ 25.000,00. Além disso, é preciso destacar a necessidade da adição de um componente de reforço para estruturas acima de 55 m<sup>2</sup> (TAGLIANI, 2017), a fim de evitar os deslocamentos laterais de sua estrutura e aumentar sua resistência à tração, características da lona de concreto já descritas neste trabalho.

O uso do concreto translúcido tem sido muito incentivado por parte de arquitetos e designers de interiores, pois sua composição permite a passagem de luz e oferece condições para que o profissional crie espaços iluminados, amplos e com um diferencial estético. Entretanto, conforme relatou Poornima (2019), devido à elevada porosidade desse material, necessária para permitir a passagem de luz, sua resistência à compressão é inferior à do concreto tradicional, o que pode implicar em maior consumo de material na estrutura em que está inserido o concreto translúcido. Similar à lona de concreto, porém em uma escala ainda maior, a principal desvantagem deste material ainda é o alto preço de comercialização de peças prontas, com custo por metro quadrado da ordem de R\$ 3.000,00, cerca de seis vezes mais caro que o concreto tradicional na mesma proporção.

O bioconcreto, por sua vez, possui como principal vantagem, a capacidade de realizar trocas gasosas com o ambiente, sem grandes perdas de suas propriedades mecânicas (GHOSH, 2016). Ao contrário, estas trocas gasosas permitem que suas propriedades físicas e mecânicas sejam melhoradas, como a resistência à compressão, e a durabilidade, que são aumentadas com a atividade das bactérias que se alojam em sua estrutura e apresentam a capacidade de diminuir as fissuras aparentes ao longo do tempo no concreto. A aplicação do bioconcreto em obras que necessitam de manutenção estrutural e restauração constante, como pontes e paredes de grandes edifícios, é indicada no mercado internacional e nacional (DURGA, 2019). A manutenção natural das estruturas de concreto acontece porque, segundo Ghosh et al. (2016) as bactérias da espécie *Escherichia coli*, presente na estrutura do bioconcreto, reage com os gases presentes na atmosfera, produzindo carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), que preenche a estrutura fissurada do concreto, reduzindo a exposição do material às ações de intempéries. Considerando que os microrganismos apresentam boa adaptabilidade às condições inóspitas, esta técnica tem elevado potencial de aplicação no mercado nacional. Entretanto, faz-se necessário o monitoramento das estruturas em nosso país, para confirmar a adaptação do microrganismo às condições climáticas brasileiras.

O concreto purificador de ar permite que a emissão de gases poluentes para a atmosfera seja reduzida (MELO, 2012; HASSAN, 2010; QUANG, 2009). Portanto, o uso mais indicado

para este material no mercado internacional e nacional, são em rodovias ou em pavimentação de vias públicas de grandes cidades, que possuem tráfego elevado de veículos e, conseqüentemente, maior emissão de poluentes atmosféricos. Entre as vantagens do uso do concreto purificador de ar é que este não possui grandes alterações de suas propriedades físicas se comparadas ao concreto tradicional, podendo ser utilizado em argamassas comuns ou na pavimentação de rodovias, sem perda de sua capacidade (FOLSTER, 2015; MELO, 2012).

Entre as principais necessidades para que o uso desse material seja eficaz é a adequação da quantidade de  $TiO_2$  a ser adicionado ao concreto por meio de ensaios para avaliar seu ponto de saturação, tendo em vista atingir o ponto ótimo de saturação do  $TiO_2$  no concreto que resulte em redução máxima da emissão atmosférica de  $NO_x$  (MELO, 2012). De acordo com Guan (2009), a capacidade de troca gasosa deste concreto é limitada à valores próximos à 3% da totalidade de seu material, teor de máxima reação com os gases gerados, principalmente, pelos veículos. Além disso, Folster (2015) verificou a diminuição da densidade e da resistência mecânica do material, o que implicou no aumento da quantidade de concreto para a pavimentação de uma rodovia, além da necessidade de aumentar a espessura da camada de pavimento, para capacitar essa rodovia ao recebimento da mesma carga que a rodovia receberia com o pavimento rígido tradicional.

### 5.3 INOVAÇÕES DO CONCRETO E ATENDIMENTO ÀS NORMAS BRASILEIRAS

Na Tabela 8 são apresentadas as normas técnicas, nacionais e internacionais, essenciais para que as inovações em concreto, que vêm sendo utilizadas no mercado internacional possam ser aplicadas ao mercado brasileiro de construção civil. As normas brasileiras devem ser aplicadas na avaliação das propriedades físicas e mecânicas das inovações em concreto, necessárias à difusão para utilização em larga escala no mercado nacional.

Tabela 8 – Normas internacionais e brasileiras aplicadas à avaliação das diferentes exigências funcionais do concreto e suas inovações

Concreto/Função	Ensaio Exigido	Normas Internacionais	Normas Brasileiras
Lona de Concreto para contenção de encostas	Ensaio de Compressão Diametral	ASTM E9	NBR 5739
Lona de Concreto para construções militares	Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos	ASTM D3967	NBR 7222
Concreto Translúcido em soluções arquitetônicas	Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos	ASTM E9	NBR 5739
Bioconcreto para regeneração de pontes e paredes	Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos	ASTM E9	NBR 5739
	Ensaio de Durabilidade do Concreto	ASTM D3967	NBR 7222
Concreto Purificador de Ar para estradas	Adequação ao Manual de Pavimento Rígido	AASHTO	DNIT
Concreto Purificador de Ar para Argamassas	Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos	ASTM E9	NBR 5739

Fonte: Autor.

Como pode ser observado na Tabela 8, para que as inovações do concreto possam ser utilizadas em larga escala no mercado nacional, precisam passar por alguns ensaios. Inicialmente, é de extrema importância que toda inovação em concreto seja ensaiada para avaliar as propriedades físicas e mecânicas exigidas, sendo imprescindíveis os ensaios de resistência à tração e à compressão. No mercado nacional, o concreto armado é, sem dúvida, o material mais utilizado pelo setor de construção civil. Isto ocorre devido a dois fatores primordiais, primeiro porque o concreto apresenta grande resistência à compressão, suportando valores da ordem de 40 MPa, enquanto o aço trabalha muito bem os esforços à tração; e o segundo se deve ao fato de os componentes do concreto, bem como o aço, serem de fácil acesso e de baixo custo no mercado.

Estes ensaios consistem em obter valores satisfatórios para a resistência à compressão, principal propriedade do material, que é utilizada para o dimensionamento das estruturas nas quais o concreto será utilizado, e para a resistência à tração, pois algumas destas inovações, como é o caso do concreto translúcido, são utilizadas sem a armadura de aço, componente que auxilia a estrutura de concreto armado a resistir às ações que tracionam o material. Estes ensaios devem atender o que estabelece a NBR 5.738, visto que a resistência mecânica do

concreto é determinada em corpos de prova cilíndricos, que devem ser preparados e manuseados, seguindo também as metodologias descritas nas demais normas da ABNT.

Portanto, para que estas inovações possam substituir o concreto como é utilizado atualmente, devem ser ensaiadas para a obtenção dos valores de resistência à tração e à compressão estabelecidas pela NBR 6118, para que estes materiais possam ser dimensionados, para utilização conjunta com aço ou não, a fim de suportar os esforços que a estrutura receberá.

Entretanto, é preciso atentar que não é apenas para fins estruturais de edificações que as inovações em concreto estão sendo desenvolvidas. A lona de concreto, por exemplo, vem sendo utilizada em superfícies externas, para contenção de encostas em áreas marginais de estradas. Desta forma, para que a lona de concreto seja amplamente difundida no mercado nacional, precisa ser avaliada por testes complementares de resistência, considerando que é utilizada em ambientes externos e, portanto, submetida aos agentes intempéricos, como chuvas intensas de verão, frio, calor excessivo e processos erosivos.

No caso do concreto purificador de ar, que possui maior aplicabilidade na construção de estradas, o material deve ser submetido aos testes e ensaios estabelecidos pelas normas do DNIT, para pavimentos de concreto, que contemplam testes mecânicos, testes de resistência à abrasão, ações de intempéries, entre outros.

Apesar de não terem sido realizados ensaios com as inovações do concreto analisadas neste trabalho, foi possível fundamentar, com os estudos e avanços das pesquisas desenvolvidas no mercado internacional, as utilidades e aplicações que estes materiais podem representar para o mercado brasileiro. Entretanto, é fundamental salientar que as exigências contidas nas normas da ABNT devem ser respeitadas, bem como, a realização de todos os ensaios e testes por elas preconizados, antes que tais técnicas sejam utilizadas em larga escala no mercado nacional da construção civil.

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou verificar que as inovações tecnológicas de concreto podem ser aplicadas em obras de construção civil, para atender diferentes funções, estruturais e não estruturais. Além de reduzir o impacto que a indústria da construção civil causa ao meio ambiente, os materiais desenvolvidos podem agregar valor às suas estruturas ou contribuir para a melhoria do ambiente interno, em que estão inseridos, por exemplo, por garantir a passagem de luz e aumentar a economia em consumo de energia elétrica ou melhorando a qualidade do ar interno e em áreas externas.

## 6 CONCLUSÕES

As inovações tecnológicas do concreto utilizadas no mercado internacional apresentam elevado potencial de aplicação no mercado brasileiro de construção civil, desde que atendam às exigências das normas da ABNT, DNIT e demais associações brasileiras responsáveis pela normatização de materiais de construção, para garantir a funcionalidade exigida para este material. Entretanto, vivemos em um país em que o mercado da construção civil é amplamente dominado por algumas empresas que fornecem os insumos necessários à construção, bem como por grandes empreiteiras, as quais regulam e gerem este mercado da maneira economicamente mais viável para si, limitando o espaço para que novas tecnologias surjam e se consolidem na Indústria da Construção nacional.

A lona de concreto já é comercializada em pequena escala no mercado nacional, possui vantagens em relação ao concreto tradicional, por ser de fácil e rápida aplicação, não necessitar de mão de obra qualificada e apresentar elevada resistência à compressão. Como desvantagem apresenta alto custo e baixa resistência à tração, necessitando de reforço complementar, o que encarece ainda mais a estrutura.

O concreto translúcido apresenta alto custo de produção e de venda, mas pode solucionar, à longo prazo, um problema de escassez de fornecimento de energia elétrica nos grandes centros, por reduzir o consumo de energia durante o dia.

O concreto purificador de ar pode contribuir para a diminuição da poluição atmosférica, mas possui a desvantagem de ser um recurso de baixa capacidade de troca gasosa, limitando a adição de moléculas de  $TiO_2$  em pequenas concentrações no concreto tradicional.

O bioconcreto aumenta a durabilidade das estruturas, devido à ação de bactérias anaeróbicas na restauração de trincas aparentes no concreto, sendo indicada sua aplicação em obras de construção civil que demandam de restauração e manutenção constantes, como pontes e paredes de grandes edificações. Devido à facilidade com que as bactérias se adaptam ao ambiente em que se encontram, nas mais variadas condições climáticas, sua aplicação no mercado nacional é de razoável aceitação. Entretanto, faz-se necessário a aplicação desta técnica e monitoramento de sua estrutura em nosso país, para confirmar sua adaptação ao mercado da construção nacional.

A indústria nacional da construção civil retomou o crescimento a partir de 2019, após a crise que afetou este segmento desde 2014 e, a adoção das inovações de concreto, pode contribuir para que este setor se desenvolva de forma inteligente e sustentável, com redução do consumo de material e de emissões atmosféricas e obtenção de certificações ambientais.

Como desenvolvimento para trabalhos futuros, deixo aqui como indicação o manuseio das Inovações em concreto trazidas neste trabalho, avaliando suas características perante as condições geográficas do Brasil, avaliando o seu ciclo de vida, encaixando-se nas Normas Técnicas deste trabalho, e, como um aprofundamento, também coloco a adequação destes materiais segundo a NBR 15575 – Edificações Habitacionais: Norma de Desempenho, garantindo o desempenho destes materiais nas obras de construção civil.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Nadine. **Bioconcreto**: o concreto capaz de regenerar suas próprias rachaduras. 2017. Disponível em: <https://constructapp.io/pt/bioconcreto-o-concreto-capaz-de-regenerar-suas-proprias-rachaduras/>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- ALVES Nadine. **Lona de concreto**: conheça a nova tecnologia para a construção civil. Disponível em: <https://constructapp.io/pt/lona-de-concreto-conheca-a-nova-tecnologia-para-construcao-civil/>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3967-16**: standard test method for splitting tensile strength of intact rock core specimens. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E9-19**: standard test methods of compression testing of metallic materials at room temperature. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto - procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222**: concreto e argamassa - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 5 p.
- BANCO de Dados - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Indicadores Imobiliários Nacionais**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/mercado-imobiliario/>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- BASHBASH B. F. *et al.* Basics of light transmitting concrete. **Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation**, Gaza, v. 2, n. 3, p. 76-83, 2013.
- BBC NEWS BRASIL. **Conheça o bioconcreto, material que fecha as próprias rachaduras**. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-37204389>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- CIMENTO.ORG. O MUNDO DO CIMENTO. **Cimento no Brasil**. Disponível em: <https://cimento.org/cimento-no-brasil/>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- DAMME, H. V. Concrete material science: past, present and future innovations. **Cement and Concrete Research**, Cambridge, v. 112, p. 5-24, 2018.
- DURGA, C. S. S. *et al.* Performance studies on rate of self healing in bio concrete. **Materials Today: Proceedings**, Andhra Pradesh, v. 27, n. 1, p. 158-162, 2019.

FALCETTA, F. A. M. **O uso do concreto na construção civil**. Disponível em: [http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/\\_resumos/eng5.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~caxd/falcetta/_resumos/eng5.pdf). Acesso em: 29 nov. 2020.

FANGYU, H. *et al.* Improvement of mechanical properties of concrete canvas by anhydrite-modified calcium sulfoaluminate cement. **Research Article**, Nanjing, v. 50, n. 14, p. 1937-1950, 2015.

FANGYU, H. *et al.* Influence of 3D spacer fabric on drying shrinkage of concrete canvas. **Research Article**, Nanjing, v. 45, n. 6, p. 1457-1476, 2014.

FOLSTER, A. F. **Efeitos da adição de nanotitânia em uma argamassa de revestimento**. Orientador: Luciano Senff. 2015. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

GHOSH, P. *et al.* Development of bioconcrete material using an enrichment culture of novel thermophilic anaerobic bacteria. **Indian Journal of Experimental Biology**, Kolkata, v. 44, n. 4, p. 336-339, 2006.

GUAN, Q.; CHEN M. Study on decontamination of vehicle emissions by nano-TiO<sub>2</sub> Sprayed on highway concrete pavement. **Journal of Highway and Transportation Research and Development**, Harbin, v. 10, p. 154-158, 2009.

HASSAN, M. M. *et al.* Evaluation of the durability of titanium dioxide photocatalyst coating for concrete pavement. **Construction and Building Materials**, Baton Rouge, v. 24, n. 8, p. 1456-1461, 2010.

HAUS. **Fabricado no Brasil, concreto translúcido é alternativa para economia de energia**. 2017. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/haus/arquitetura/fabricado-no-brasil-concreto-translucido-e-alternativa-para-economia-de-energia/>. Acesso em: 29 nov. 2020.

HUI, L. *et al.* Application design of concrete canvas (CC) in soil reinforced structure. **Geotextiles and Geomembranes**, Nanjing, v. 44, n. 4, p. 557-567, 2016.

LIMA, C. I. V. *et al.* Concreto e suas inovações. **Cadernos de Graduação**, Maceió, v. 1, n. 1, p. 31-40, 05/2013.

MARCOS, Antonio. **Conheça o concreto translúcido**. Blog O Pórtico.com. Minas Gerais, 27 fev. 2016. Disponível em: <http://o-portico.blogspot.com/2016/02/conheca-o-concreto-translucido.html>. Acesso em: 29 nov. 2020.

MELO, J. V. S. **Desenvolvimento de peças pré-moldadas de concreto fotocatalíticas para pavimentação e purificação do ar**. Orientador: Glicerio Triches. 2012. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

OBATA, S. H.; MAGALHÃES, I. M.; ZEQUIN, F. P. Uso do dióxido de titânio e a sustentabilidade nos materiais de construção civil. In: SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS, 12, 2012, São Paulo. **Abstracts** [...]. São Paulo: Faculdade de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia – FEFAAP – Fundação Armando Álvares Penteado – FAAP, 2012. 5 p.

POORNIMA, D. *et al.* An experimental study on light transmitting concrete. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, Mandya, v. 6, n. 5, p. 7207-7212, 2019.

SANTOS, A. **No Brasil, concreto translúcido ainda está na academia.** 2017. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/concreto-translucido-na-academia/>. Acesso em: 29 nov. 2020.

SARAIVA, A.; BÔAS, B. V. Construção tem 1ª alta desde 2013 e cresce 1,6% em 2019, mostra IBGE. **Valor Econômico**, Rio de Janeiro, 04 mar. 2020. Disponível em: <https://valor-globo-com.cdn.ampproject.org/c/s/valor.globo.com/google/amp/brasil/noticia/2020/03/04/construcao-tem-1a-alta-desde-2013-e-cresce-16percent-em-2019-mostra-ibge.ghtml>. Acesso em: 29 nov. 2020.

SEIFAN, M.; SAMANI, A. K.; BERENJIAN, A. Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Hamilton, v. 100, n. 6, p. 2591–2602, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7316-z>. Acesso em: 29 nov. 2020.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO . **Números da Indústria.** Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-industria.php>. Acesso em: 29 nov. 2020.

TAGLIANI, S. Lona de concreto: tudo o que você precisa saber sobre essa inovação tecnológica. **Blog da Arquitetura.** [S.l], 12 maio 2017. Disponível em: <https://www.blogdaarquitetura.com/lona-de-concreto-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-essa-inovacao-tecnologica/>. Acesso em: 29 nov. 2020.

TANEJA, E. K.; TEJAS, M. J.; URMIL, D. Evaluation of mechanical properties and light transmission of light-transmitting concrete. Separata de: MAHAJAN, A.; MODI, B. A.; PATEL, P. (ed.). **Technology Drivers: Engine for Growth**, 2018. p. 53-57.

TECNOSIL. **O que é concreto e quais os principais tipos utilizados na construção.** Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/o-que-e-concreto-e-quais-os-principais-tipos-utilizados-na-construcao-2/>. Acesso em: 29 nov. 2020.

UCHÔA, S. B. B. *et al.* Prospecção tecnológica: painéis de vedação utilizando concreto leve e materiais reciclados. **Caderno de Prospecção**, Salvador, v. 8, n. 4, p. 780-790, 2015. D.O.I.: 10.9771/S. CPROSP.2015.008.087.

VALENTI, G. Setor imobiliário faz fila para IPO na B3 e pode movimentar R\$ 10 bi. **Exame**, São Paulo, 25 jul. 2020 Disponível em: <https://exame-com.cdn.ampproject.org/c/s/exame.com/negocios/setor-imobiliario-faz-fila-para-ipo-na-b3-e-pode-movimentar-r-10-bi/amp/>. Acesso em: 29 nov. 2020.

ZHANG, F. *et al.* Experimental study of the mechanical behavior of FRP-reinforced concrete canvas panels. **Composite Structures**, Nanjing, v. 176, n. 15, p. 608-616, 2015.