

CONCEITOS E APLICAÇÕES DO CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO: PANORAMA NACIONAL E INTERNACIONAL

Roberto CHRIST¹; Fernanda PACHECO²; Camila SIMONETTI³; Bernardo F. TUTIKIAN⁴

1. Universidade do Vale do Rio do Sinos – itt Performance – rchrist@unisinos.br. 2. Universidade do Vale do Rio do Sinos – itt Performance – fernandapache@unisinos.br. 3. Universidade do Vale do Rio do Sinos – itt Performance – cacaks@hotmail.com. 4. Universidade do Vale do Rio do Sinos – itt Performance – brtutikian@unisinos.br

Recebido em: 20 fev. 2019 - **Aceito em:** 10 mar. 2019

RESUMO: As novas soluções de Engenharia e os projetos cada vez mais desafiadores propostos por Arquitetos e Engenheiros evidenciam o desenvolvimento dos concretos, fazendo com que este material seja cada vez mais aprimorado. A evolução do concreto passa a ser uma necessidade do meio produtivo, sendo que novos concretos são desenvolvidos, devido a condições técnicas específicas de execução, de resistência ou até mesmo em relação à durabilidade das estruturas. Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento do Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD) no Brasil, mostrando aplicações práticas no âmbito nacional e internacional. O desenvolvimento e a utilização do CUAD na Construção Civil está crescendo, demonstrando os benefícios da utilização desta tecnologia, cada vez mais consolidada entre o meio técnico e empresarial. Os benefícios da utilização do material vão além da elevada resistência, os elementos confeccionados com o CUAD apresentam maior durabilidade e flexibilidade nas preposições de novas formas geométricas. A disseminação do CUAD no meio técnico precisa ser potencializada, de maneira que a consolidação desta tecnologia na indústria da construção seja efetivada e possa abranger maior aplicação do CUAD no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos cimentícios. Concreto de Ultra Alto Desempenho. Dosagem. Construção civil.

INTRODUÇÃO

Os desafios da Engenharia passam pela criação de novas soluções, seja de processos construtivos, eficiência energética e novos materiais. Dentre estes, os novos materiais passam a ser importante para a cadeia produtiva, pois são desenvolvidos buscando atender uma demanda específica, que os materiais triviais não atendem (RIBEIRO, 2008).

A busca de novas soluções para um determinado problema na Construção Civil é constante. O desenvolvimento de materiais alternativos, ou a incorporação de resíduos da própria Construção Civil, muitas vezes ajudam a solucionar problemas impostos pelas necessidades da minimização dos desperdícios na Construção Civil (RIBEIRO, MOURA, PIROTE, 2016).

O desenvolvimento de novos produtos à base de cimento cresce e se expande. A necessidade de se obter compostos com propriedades distintas aos compósitos cimentícios triviais, faz com que estes novos produtos sejam desenvolvidos. Concretos modernos podem ser compostos por minerais selecionados, aditivos químicos que melhoram a trabalhabilidade e introdução de fibras que tornam o concreto um produto com maior ductilidade (CHRIST; TUTIKIAN, 2013).

A investigação e criação destes novos concretos, na década de 90, com equipamentos específicos para o estudo da reologia, microestrutura e a nanoestrutura dos materiais, fez surgir uma nova disciplina denominada ciência do concreto (AITCIN, 1998). A evolução dos concretos ocorreu devido a uma necessidade específica e particular, onde o concreto convencional não satisfazia as necessidades de um determinado projeto. Foi assim com o concreto autoadensável por exemplo (TUTIKIAN, 2007).

O aparecimento do concreto conhecido como de alto desempenho ocorreu por volta do ano de 1990, sendo o concreto desenvolvido pelos pesquisadores Mehta e Aïtcin. Este tipo de concreto apresenta propriedades mecânicas e reológicas para uma demanda específica, como por exemplo, elevada resistência mecânica em uma determinada idade, controle de retração, controle do calor de hidratação, elevada durabilidade (CHRIST, 2014).

Seguindo esta tendência e este entendimento, o concreto autoadensável também foi uma evolução dos concretos convencionais. O surgimento do concreto que apresenta uma elevada fluidez, sendo capaz de se autoadensar, sem que houvesse a segregação dos constituintes da mistura, fez surgir o concreto autoadensável muito utilizado na Construção Civil no mundo todo. O surgimento deste novo concreto se deu no Japão, em 1988, foi necessário o seu desenvolvimento pelo fato de ser necessário a concretagem de blocos de fundações com elevada taxa de armadura e não sendo possível a utilização de vibradores (TUTIKIAN, 2007).

O desenvolvimento de novos compostos cimentícios traz a importância da ciência dos materiais nas universidades, bem como enfatiza a necessidade de suprir determinada demanda do mercado. O objetivo deste artigo é apresentar a evolução da ciência dos materiais no desenvolvimento do CUAD, evidenciando as vantagens e desvantagens na utilização deste novo material, bem como os estudos já desenvolvidos em escala industrial.

MATERIAL E MÉTODO

Esse trabalho traz uma investigação exploratória quanto a as definições sobre o Concreto de Ultra Alto Desempenho (CUAD) bem como as principais características e utilização desse concreto no Brasil e no Mundo.

DEFINIÇÃO DO CUAD

O desenvolvimento do concreto de ultra alto desempenho surgiu na década de 90 pelos pesquisadores Richard e Cheyrezy. Naquela oportunidade o material foi chamado de Concreto de Pós Reativos (CPR) devido ao material apresentar em sua composição apenas materiais muito finos, como pós, e terem determinada reatividade após a aplicação de uma cura térmica em autoclave (CANBAZ, 2014).

O CUAD é um composto polimérico que apresenta elevada resistência à compressão, resistência à tração, tenacidade e elevada durabilidade, onde em sua composição não há a presença de agregado graúdo. O diâmetro máximo dos agregados utilizados na mistura é geralmente inferior a 3 milímetros. O material concreto é definido como sendo uma mistura homogênea entre o ligante, areia e brita, podendo ou não ter demais adições (RICHARD; CHEYREZY, 1995). Se esta definição for satisfeita, o CUAD não pode ser definido como sendo um concreto, uma vez que em sua composição não há a presença de agregado graúdo. Porém, pelo fato do material apresentar elevadas resistência mecânica, superior aos valores triviais dos concretos de alta resistência, o termo concreto pode ser aplicado.

O termo concreto para o CUAD não foi empregado em diversas pesquisas, pelo fato de não se ter a definição concreta do que de fato é um CUAD. Porém, no ano de 2013, o Instituto Americano do Concreto (ACI) e a Associação Francesa de Engenharia Civil (AFGC) apresentaram definições específicas do que é um CUAD. A AFGC define como sendo um CUAD misturas que em sua composição não apresentam agregados graúdos, usam baixa relação água/aglomerante e reforço de fibras de aço, apresentando resistência à compressão, aos 28 dias, superior a 150 MPa e resistência à tração superior a 8 MPa (AFGC, 2013). O ACI 239 (2013) apresenta a definição de que um CUAD deve possuir a resistência à compressão mínima de 150 MPa, uma durabilidade específica e elevada ductilidade.

As propriedades mecânicas e reológicas do CUAD são realmente distintas aos demais concretos. O CUAD possui as propriedades específicas de três diferentes tipos de concreto, o Concreto Autoadensável (CAA) o Concreto de Alto Desempenho (CAD) e o Concreto Reforçado com Fibra (CRF). Cada um destes tipos de concreto apresentam uma propriedade específica, onde estas são encontrada também no CUAD, como elevara resistência mecânica e durabilidade, alta fluidez sem que haja segregação e a elevada resistência à tração e tenacidade (TORREGROSA, 2013).

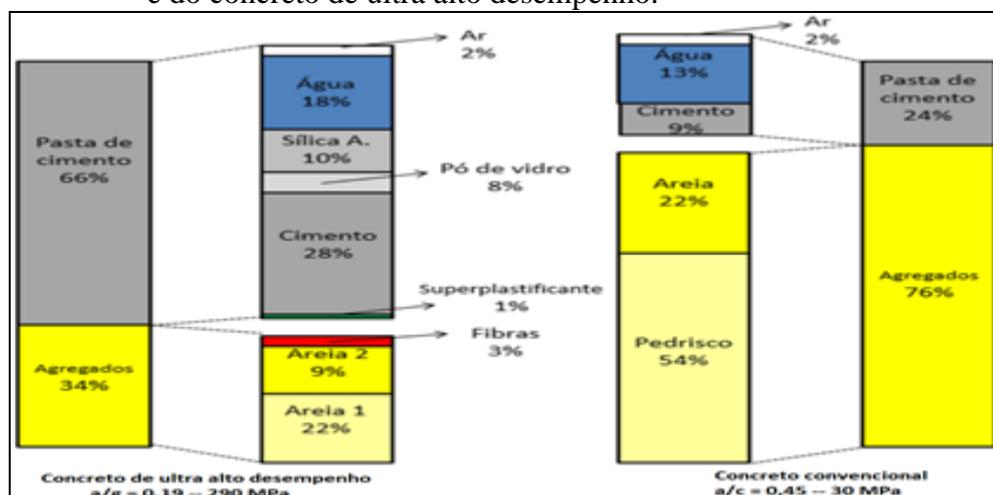
CONCEITOS E CONSTITUINTES DO CUAD

Os materiais utilizados nas misturas de CUAD são materiais de fácil acesso. Os principais materiais que compõem uma mistura são: cimento, sílica ativa, cinza volante (estes três sendo os aglomerantes mais triviais), areia fina com diâmetro de grão não superiores a 3 mm e com distribuição granulométrica bem definida e livre de materiais orgânicos, aditivo superplastificante (geralmente a base de policarboxilato), fibras e água (CHRIST; TUTIKIAN; PACHECO, 2011).

A escolha dos constituintes a serem utilizados para a confecção do CUAD, passa por uma análise da distribuição granulométrica. Para que se possa atingir as propriedades do material é preciso que a mistura dos constituintes tenha uma boa compacidade, que a mistura tenha um excelente empacotamento granular (ABBAS; SOLIMAN; NEHDI, 2015; ALSALMAN; DANG; MICAH HALE, 2017; ARORA et al., 2018; CANBAZ, 2014; CHRIST, 2014; EDEN, 2010; HÜSKEN; BROUWERS, 2008; RICHARD; CHEYREZY, 1995; TORREGROSA, 2013).

Naaman e Wille (2012) em sua pesquisa mostram a principal diferença entre um concreto convencional para um concreto de ultra alto desempenho, sendo a proporção entre a pasta de cimento e os agregados da mistura. Os CUAD apresentam uma maior porcentagem de pasta de cimento se comparado ao concreto convencional, porém a quantidade de cimento como um todo não é demasiadamente elevada. Este aumento se dá devido a elevada quantidade de materiais pozolânicos presente na mistura, fazendo com que o percentual de aglomerante na mistura seja maior (Figura 1).

Figura 1 - Proporcionamento dos constituintes do concreto convencional e do concreto de ultra alto desempenho.

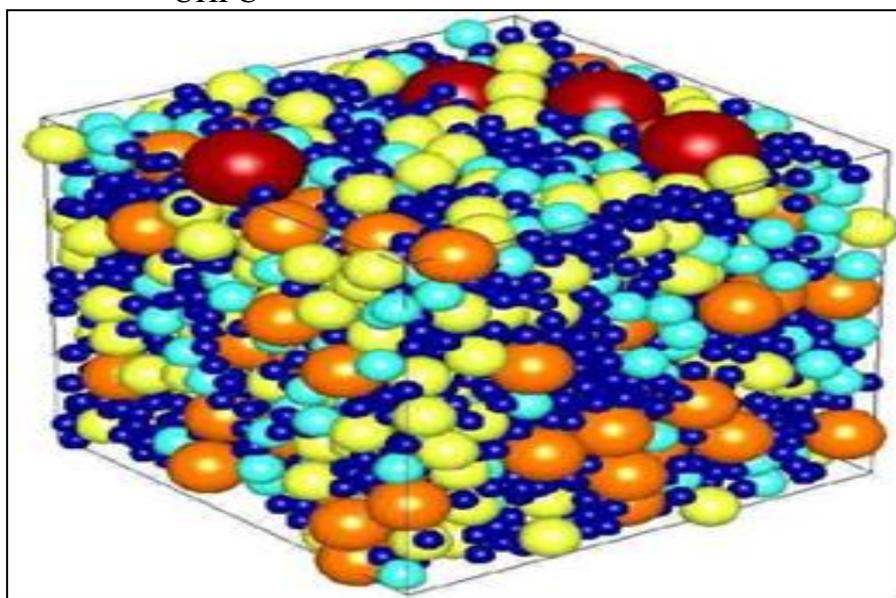


Fonte: (NAAMAN; WILLE, 2012 p.8).

A introdução de fibras na mistura é um ponto muito importante no CUAD, garantindo ao material a elevada ductilidade. Muitas estruturas confeccionadas com o CUAD não possuem armaduras passivas, apenas são empregadas armaduras ativas para realizar a união dos elementos pré-fabricados. O elevado teor de fibras na mistura, que geralmente é de 3% em relação ao volume de concreto, é que garante esta possibilidade (EIDE; HISDAL, 2012; WILLE; NAMAN; PARRA-MONTESINOS, 2011).

O desempenho do CUAD está ligado diretamente ao empacotamento granular da mistura dos constituintes. Para que o material apresente o desempenho esperado é muito importante que a eliminação dos vazios, utilizando o método do empacotamento das partículas, seja empregada. O empacotamento granular permite que a mistura elaborada apresente uma excelente compacidade da mistura, e assim, obtendo uma mistura com o mínimo imperfeições em função da quantidade de vazios gerado pela distribuição granulométrica (GEISENHANSLÜKE, 2008; TAYEB et al., 2015).

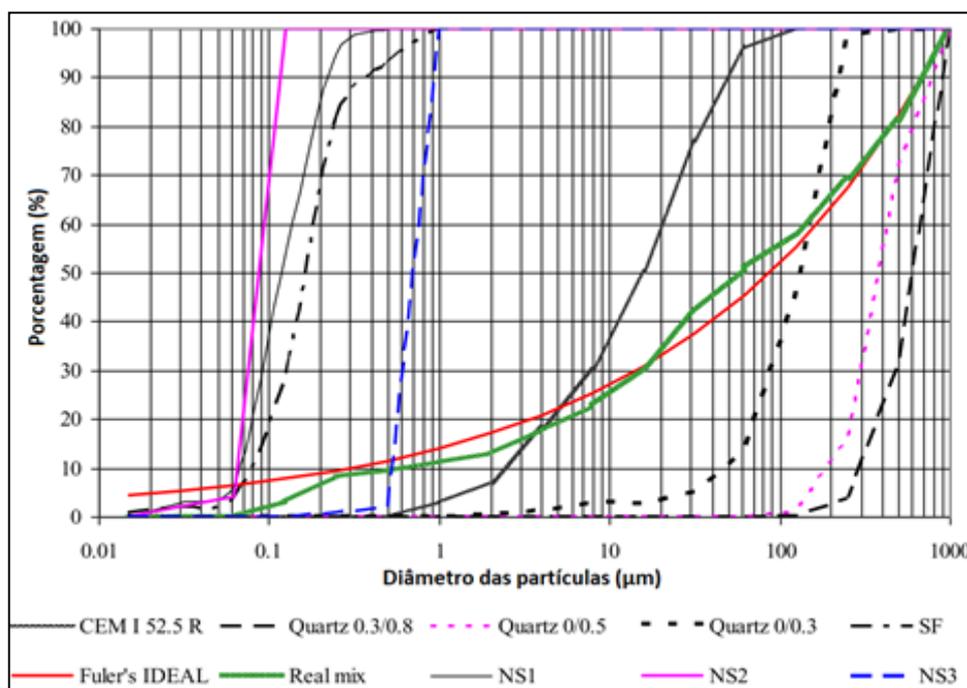
Figura 2 - Empacotamento granular de uma mistura em função das características dos agregados utilizados em misturas de UHPC



Fonte: FIDJESTOL, THORSTEINSEN, SVENNEVIG, (2012).

A distribuição granular da matriz é predominantemente dependente da composição dos constituintes da mistura. Os materiais trivialmente utilizados em uma matriz de CUAD, possuem diferente distribuição granulométrica, podendo em alguns materiais ter um diâmetro de partícula igual (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição granulométrica dos materiais utilizado em pesquisa



Fonte: Lowke et al. (2012).

A escolha dos materiais a ser utilizado para o desenvolvimento do CUAD é de suma importância para garantir o desempenho mecânico e reológico. Pesquisa desenvolvida por Lowke et al. (2012) evidenciou que as propriedades do CUAD investigadas foram decisivamente afetadas pela distribuição do tamanho das partículas das adições, e não pelo tipo de material. Os resultados apontam que as propriedades reológicas e, portanto, a trabalhabilidade do concreto fresco, foram significativamente afetadas pela distribuição granulométrica das adições. As adições com diâmetro de partícula maior, aumentaram a demanda de superplastificante.

Além da necessidade de se obter uma distribuição granular perfeita, sem que se tenha a presença de vazios em função da distribuição não descontínua dos agregados. A relação água aglomerante a ser empregada no CUAD, deve ser extremamente baixa. Diferentemente dos concretos convencionais, a relação água aglomerante não pode ser variada.

A relação água aglomerante trivialmente utilizada para a obtenção de um CUAD é de 0,24, no máximo. Uma relação maior pode gerar retrações por secagem e autógena e assim diminuindo a resistência da matriz, além de formar poros capilares que reduzem a impermeabilidade da mesma (FEHLING et al., 2015).

A quantidade de água a ser acionada ao concreto não apenas interfere na resistência mecânica do material, mas também impacta diretamente na trabalhabilidade da mistura, sendo

de extrema necessidade a utilização de aditivos superplastificantes para suprir esta deficiência (EUGEN BRÜHWILER; EMMANUEL DENARIÉ, 2008). Devido à baixa quantidade de água presente na mistura do CUAD, a quantidade de aditivos superplastificantes a serem inserido na mistura é de grande importância para garantir o comportamento reológico desejado (EDEN, 2010).

A elevada resistência à tração do CUAD é obtida principalmente pela incorporação, concentração, orientação e distribuição de fibra na mistura. Uma mistura de CUAD, possui trivialmente uma elevada contração de fibras em sua mistura. O teor de fibra mais utilizado é de 3% em relação ao volume da mistura, teor superior aos usualmente utilizados em concreto com fibras, porém as fibras utilizadas são microfibras de aço, conforme pode ser visto na Figura 4. Devido a este elevado teor, as fibras são responsáveis por mais de 60% do custo do concreto (WALRAVEN, 2004).

Figura 4 - Microfibras de aço utilizadas para a confecção de CUAD



Fonte: Autor

A orientação das fibras em uma matriz de CUAD proporciona grandes variações no desempenho mecânico do produto, sendo este fato de grande importância no dimensionando de elementos estruturais. As fibras são responsáveis pelo controle da propagação das fissuras, não inibem a formação das fissuras, mas trabalham como uma ponte de ligação das tensões.

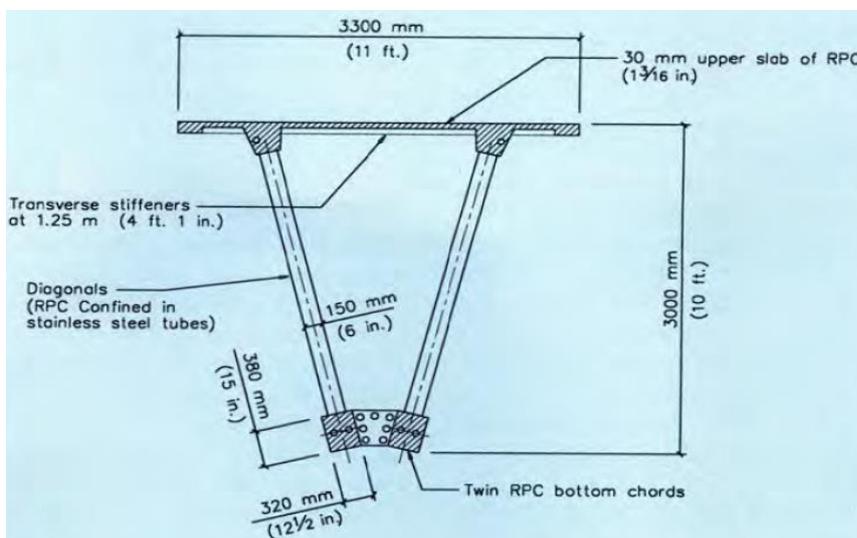
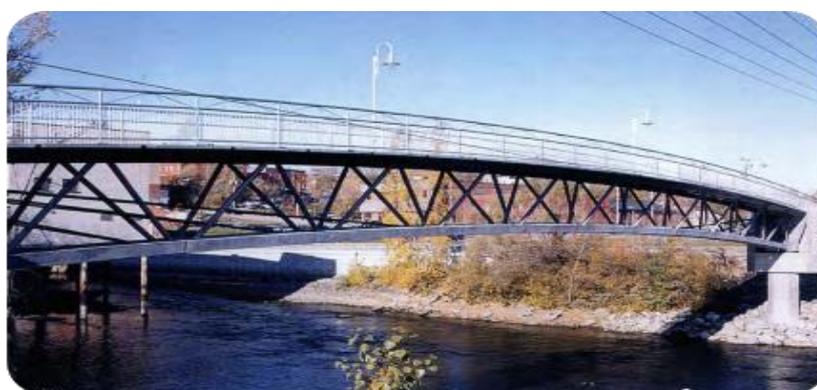
Devido a esta ponte de ligação, a orientação das fibras se torna muito importante para o desempenho mecânico do composto. Uma vez que as fibras sejam orientadas de forma a permanecerem perpendicularmente a orientação das fissuras do elemento, a maior resistência à tração é encontrada (KAKOOEI et al., 2012).

APLICAÇÕES DO CUAD

O CUAD já foi empregado em elementos estruturais de passarelas, pontes, viadutos, painéis de fachada, placas para utilização de barreiras contra projeteis entre outras aplicações (LEUTBECHER; FEHLING, 2013).

A primeira utilização do material foi em 1997 na cidade de Sherbrooke, Quebec, Canadá. Foi confeccionada uma passarela para pedestres, onde o vão entre apoios da estrutura possui 60 metros de comprimento. A sessão transversal da passarela está apresentada na Figura 5, bem como a estrutura como um todo.

Figura 5 - Passarela para pedestre confeccionada com CUAD na cidade de Sherbrooke



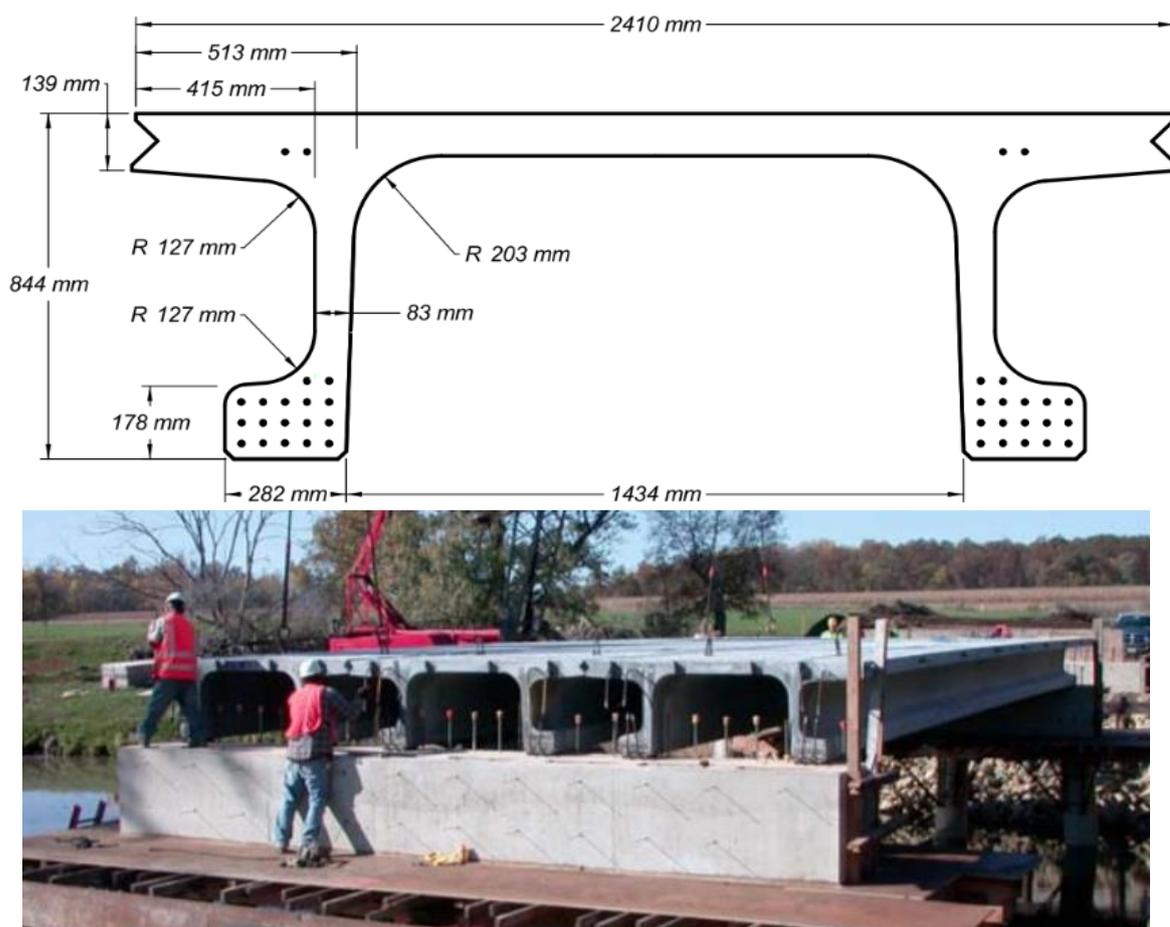
Fonte: (BLAIS; COUTURE, 1999).

Pode-se perceber que a estrutura da passarela é extremamente esbelta. A espessura da placa onde as pessoas caminham apresenta uma espessura de apenas 3 milímetros. A estrutura possui uma viga inferior com sessão de geometria variada, com dimensões reduzidas. Possui também barras de aço ligando a viga inferior e a placa superior da passarela, formando assim uma espécie de treliça, estes tubos de aço foram preenchidos com CUAD.

Outras aplicações já foram realizadas com o CUAD pelo mundo, como uma das primeiras pontes para trânsito de veículos pesados confeccionada com o CUAD em 2006 no estado de Iowa nos Estados Unidos.

A ponte denominada “Jakway Park Bridge” serviu como protótipo para avaliação da efetividade do sistema estrutural proposto. A estrutura foi sendo monitorada durante a sua utilização com a finalidade de verificar a sua efetividade e validação dos cálculos. A estrutura foi modelada através de elementos finitos onde se obteve as solicitações da estrutura, sendo que a estrutura não possui armaduras passivas e estribos para combater as solicitações. A ponte foi concebida com três vigas em formato PI (π) com aproximadamente 8 metros de comprimento, a Figura 6 mostra as dimensões das sessões e a montagem da mesma.

Figura 6 - Detalhe da estrutura e da montagem da ponte Jakway Park Bridge



Fonte: (KEIERLEBER; COUNTY; BIERWAGEN, 2010).

O CUAD foi utilizado também em elementos de fachadas, no Brasil a primeira utilização do CUAD foi em São Paulo/SP, no prédio do Ministério das Relações Exteriores,

onde foram executadas placas de fachada em uma revitalização. Nesta ocasião, os projetistas precisavam de elementos que não poderiam gerar uma sobre carga grande, e assim foram criados painéis vazados com aproximadamente 40% de vazios (Figura 7). Os painéis possuem 2,5 metros de comprimento por 4,5 metros de altura com uma espessura de 3 centímetros.

Figura 7 - Fachada do edifício do Ministério das Relações Exteriores feito com o CUAD



Fonte: (MULLER; KOELLE; ALMEIDA, 2017).

Outros elementos decorativos de sistemas de fachadas de edificação também podem ser confeccionados com o CUAD, pois o material viabiliza elevada resistência mecânica, fazendo com que as peças possuam uma espessura reduzida (TORREGROSA, 2013).

Contudo, o emprego do CUAD não se restringe exclusivamente a obras de arte ou passarelas. Devido as suas excelentes propriedades mecânicas e de durabilidade, a aplicação em outras aplicações na Engenharia é totalmente possível e viável (ALSALMAN; DANG; MICAH HALE, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O CUAD é sem dúvida um composto cimentício com excelentes propriedades mecânicas e que tem uma vasta aplicabilidade em obras civis. Seu desempenho mecânico e elevada durabilidade faz com que o material possa ser empregado em diversos tipos de obras e de elementos construtivos.

O emprego deste material em estruturas, possibilita ao projetista diminuir

consideravelmente a sessão dos elementos, diminuindo assim o peso global da estrutura e aproveitando melhor a área útil disponível.

Apesar de todos os benefícios comprovados, ainda existe uma lacuna a preenchida quanto a uma dosagem eficiente do CUAD, determinando a proporção ideal dos materiais utilizados na mistura de forma eficaz e econômica. Atualmente já se encontra no mercado, em vendas, o CUAD no mercado nacional e internacional, porém ainda muito caro e por isso difícil aplicabilidade.

Estudos devem ser desenvolvidos e incentivados para que se possa determinar as proporções ideais dos materiais para o desenvolvimento do CUAD, em qualquer país, bem como para aperfeiçoar os métodos de cálculo para o dimensionamento dos elementos confeccionados com este novo concreto.

CONCEPTS AND APPLICATIONS OF THE ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE: NATIONAL AND INTERNATIONAL PANORAMA

ABSTRACT: The new Engineering solutions and the increasingly challenging projects proposed by Architects and Engineers show the development of concretes, making this material more and more improved. The evolution of the concrete becomes a necessity of the productive environment, and new concretes are developed, due to specific technical conditions of execution, resistance or even in relation to the durability of the structures. This work aims to present the development of Ultra High Performance Concrete (UHPC) in Brazil, showing practical applications in the national and international scope. The development and use of UHCP in Civil Construction is growing, demonstrating the benefits of using this technology, increasingly consolidated between the technical and business environment. The benefits of using the material go beyond the high resistance, the elements made with the UHPC present greater durability and flexibility in the prepositions of new geometric forms. The dissemination of the UHPC in the technical environment needs to be strengthened, so that the consolidation of this technology in the construction industry will be effective and may include greater application of the UHPC in Brazil.

KEYWORDS: Cement Composites. Ultra-High Performance Concrete. Dosage. Civil Construction.

REFERÊNCIAS

ABBAS, Safeer; SOLIMAN, Ahmed M.; NEHDI, Moncef L. **Exploring mechanical and durability properties of ultra-high performance concrete incorporating various steel fiber lengths and dosages**. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 75, 2015.

ACI COMMITTEE 239. **ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE** 2012 ACI Fall Convention. In: 2013, Toronto, Ontario, Canada. Anais... Toronto, Ontario, Canada

AFGC. Documents scientifiques et techniques Bétons fibrés à ultra-hautes performances - recommandations. In: (Edition Révisée, Ed.) 2013, France. Anais... France

AITCIN, Pierre Claude. High Performance Concrete. 1. ed. London and New York: 1, 1998.

ALSALMAN, Ali; DANG, Canh N.; MICAH HALE, W. **Development of ultra-high performance concrete with locally available materials**. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 133, p. 135–145, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.040>

ARORA, Aashay et al. **Microstructural packing- and rheology-based binder selection and characterization for Ultra-high Performance Concrete (UHPC)**. *Cement and Concrete Research*, [s. l.], v. 103, n. October 2017, p. 179–190, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.10.013>

BLAIS, P. Y.; COUTURE, Marco. **Precast , Prestressed Pedestrian Bridge — World ’ s First Reactive**. *PCI Journal*, [s. l.], v. 44, n. 5, p. 60–71, 1999.

CANBAZ, Mehmet. **The effect of high temperature on reactive powder concrete**. *Construction and Building Materials*, [s. l.], v. 70, p. 508–513, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.097>

CHRIST, R.; TUTIKIAN, B. **Study of pressure and curing temperature in reactive powder concretes (RPC) with different amounts of metallic microfibers**. *Revista de la Construccion*, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 30–38, 2013.

CHRIST, Roberto. **Desenvolvimento de compósitos cimentícios avançados à base de pós-reativos com misturas híbridas de fibras e reduzido impacto ambiental**. São Leopoldo Dissertação de Mestrado, , 2014.

CHRIST, Roberto; TUTIKIAN, Bernardo F.; PACHECO, Fernanda. **Estudo comparativo entre concretos de alto desempenho e compósitos cimentícios avançados**. *Concreto e Construção - IBRACON*, São Paulo, p. 72–76, 2011.

EDEN, Wolfgang. **Einfluss der Verdichtung von Kalk-Sand-Rohmassen auf die Scherbenrohdichte von Kalksandsteinen**. 2010. Universität Kassel Fachbereich - Deutschland, Kassel, 2010.

EIDE, Mari Bohnsdalen; HISDAL, Jorun-Marie. **Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRC) – State of the art**. [s.l: s.n.].

EUGEN BRÜHWILER; EMMANUEL DENARIÉ. **Rehabilitation of concrete structures using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete**. In: 2° International Symposium on Ultra High Performance Concrete.,, 2008.

FEHLING, Ekkehard et al. **Ultra-High Performance Concrete UHPC: Fundamentals, Design, Examples**. [s.l: s.n.].

FIDJESTOL, Per; THORSTEINSEN, Rein Terje; SVENNEVIG, Paul. **Making UHPC with Local Materials - The Way Forward**. In: 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials., 2012.

GEISENHANSLÜKE, Carsten. **Einfluss der Granulometrie von Feinstoffen auf die Rheologie von Feinstoffleimen**. 2008. Universität Kassel, Kassel, 2008.

HÜSKEN, G.; BROUWERS, H. J. H. **A new mix design concept for earth-moist concrete: A theoretical and experimental study**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 38, n. 10, p. 1246–1259, 2008.

KAKOOEI, Saeid et al. **The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures**. Construction and Building Materials, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 73–77, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.015>

KEIERLEBER, Brian; COUNTY, Buchanan; BIERWAGEN, Dean. FHWA , **Iowa optimize Pi girder**. ASPIRE THE CONCRETE BRIDGE MAGAZINE, [s. l.], v. 4, n. 1935–2093, p. 24–29, 2010. Disponível em: http://www.aspirebridge.com/magazine/2010Winter/ASPIRE_Winter10.pdf

LEUTBECHER, Torsten; FEHLING, Ekkehard. **A simple design approach for uhpfrc in bending**. Marseille France RILEM-fib-AFGC, , 2013.

LOWKE, Dirk et al. **Control of Rheology, Strength and Fibre Bond of UHPC with Additions – Effect of Packing Density and Addition Type**. In: 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials., 2012.

MULLER, Rodrigo Menegaz; KOELLE, Paulo; ALMEIDA, Claudio Nascimento. **A utilização de UHPC em obras no Brasil**. Ed.82º Concreto e Construção - IBRACON, São Paulo, p. 57–62, 2017.

NAAMAN, Antoine E.; WILLE, Kay. **The Path to Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHP-FRC): Five Decades of Progress**. In: 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials., 2012.

RIBEIRO, Denise; MOURA, Larissa Santos; PIROTE, Natália Stéfanie dos Santos. **Sustentabilidade: Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil**. Revista Ciências Gerenciais, v.20, n.31, p.41-45, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17921/1415-6571.2016v20n31p41-45>

RIBEIRO, Ricardo Augusto Cruz. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal – mecânicos**. Universidade Federal do Paraná. Engenharia e Ciência dos Materiais. p.89; 2008.

RICHARD, Pierre; CHEYREZY, Marcel. **Composition of reactive powder concretes**. Cement and Concrete Research, [s. l.], v. 25, n. 7, p. 1501–1511, 1995.

TAYEB, Raihan et al. **Analysis of Cohesive Microsized Particle Packing Structure Using History-Dependent Contact Models**. Journal of Manufacturing Science and Engineering, [s. l.], v. 138, n. 4, p. 041005, 2015. Disponível em: <http://manufacturingscience.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?doi=10.1115/1.4031246>

TORREGROSA, Esteban Camacho. **Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties**. 2013. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA Dosage, [s. l.], 2013.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Proposição De Um Método De Dosagem Experimental Para Concretos Auto-Adensáveis Proposição De Um Método De Dosagem Experimental Para Concretos Auto-Adensáveis**. 2007. Univerisdade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, [s. l.], 2007.

WALRAVEN, Joost C. **Designing with ultra high strength concrete: basics, potential and perspectives**. In: 1º International Symposium on Ultra High Performance Concrete. Ultra High Performance Concrete (UHPC), 2004.

WILLE, Kay; NAMAN, Antoine E.; PARRA-MONTESINOS, Gustavo J. **Ultra - High Performance Concrete with Compressive Strength Exceeding 150 MPa (22ksi): A Simpler Way**. ACI Materials Journal, [s. l.], v. 108, n. 1, p. 46–53, 2011.