

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DO CONCRETO DE ULTRA-ALTO DESEMPENHO PRODUZIDO COM PÓS REATIVOS¹

PROPERTIES AND APPLICATIONS OF THE ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE PRODUCED WITH REACTIVE POWDER

Gediel da Silva², Cristiane Dalcin³, Éder Claro Pedrozo⁴, Taciana Paula Enderle⁵

¹ Pesquisa realizada no Grupo de Estudos Interdisciplinar em Engenharia, Unijuí - Campus Santa Rosa

² Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da Unijuí - Santa Rosa/RS - Bolsista Voluntário do Grupo de Estudos Interdisciplinar em Engenharia - E-mail: gediel.silva@sou.unijui.edu.br

³ Acadêmica do Curso de Engenharia Civil da Unijuí - Santa Rosa/RS - Bolsista Voluntária do Grupo de Estudos Interdisciplinar em Engenharia - E-mail: cristiane.dalcin@sou.unijui.edu.br

⁴ Professor Mestre do Curso de Graduação de Engenharia Civil da UNIJUÍ, Orientador - E-mail: eder.pedrozo@unijui.edu.br

⁵ Professora Mestra do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da UNIJUÍ, Orientadora - E-mail: taciana.enderle@unijui.edu.br

INTRODUÇÃO

O surgimento do concreto permitiu novas formas de edificar, proporcionando maior versatilidade no desenvolvimento de estruturas mais esbeltas e de qualidade superior. Sendo o material de construção mais utilizado, o concreto tem sido continuamente estudado, visando melhorar suas características e suprir as novas exigências do mercado em relação ao desempenho das edificações (BIZ, 2001).

Arelado ao desenvolvimento tecnológico, tem-se oportunizado o aperfeiçoamento dos softwares de cálculo estrutural, através dos quais, torna-se possível a concepção de projetos de edificações de maior complexidade, bem como a análise do comportamento das estruturas através de simulações digitais. Sendo assim, para viabilizar a execução prática destas propostas projetuais, tem-se a demanda por novas alternativas de materiais e compósitos que atendam às especificidades de projeto, principalmente quanto às condições de resistência e durabilidade dos empreendimentos executados (CHRIST, 2014).

O conhecimento e o domínio das técnicas construtivas, bem como das propriedades dos materiais utilizados e das tecnologias empregadas na elaboração de novas alternativas, são aspectos fundamentais para o desenvolvimento do setor da construção civil. Assim, o ponto inicial dos estudos se dá a partir do concreto convencional (CC) que, de forma sistematizada, é uma mistura de cimento, agregados graúdos, agregados miúdos e água, que deve apresentar trabalhabilidade e condições adequadas de suporte às solicitações. Com o objetivo de proporcionar melhores características a este composto e com isso, expandir suas possíveis aplicações, faz-se o uso de aditivos e a seleção criteriosa dos materiais utilizados, verificando-se o desempenho das diferentes alternativas estudadas (PETRUCCI, 1998).

De acordo com Tutikian, Isaia e Helene (2011), o surgimento de novos aditivos e adições minerais contribuem para a maior durabilidade das estruturas, atendendo aos critérios do projeto, sem prejudicar as características do concreto no estado fresco e endurecido. Desta forma, a disponibilidade de novas alternativas de materiais e o desenvolvimento de estudos e tecnologias viabilizaram a produção de concretos especiais, como o Concreto de Alta Resistência (CAR), Concreto de Alto Desempenho (CAD) e Concreto de Ultra-Alto Desempenho (CUAD).

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Assim, como resultado de inúmeros estudos a respeito da tecnologia do concreto, desenvolveu-se o Concreto de Pós Reativos (CPR), sendo este caracterizado como um dos tipos de CUAD. Conforme afirma Bina (1999), o desenvolvimento do CPR resultou de uma parceria entre pesquisadores franceses e canadenses, com o propósito de produzir um concreto com características superiores ao CAD e que suprisse a demanda das novas construções.

Se comparado com a evolução histórica da tecnologia do concreto, o CPR pode ser considerado como um material ainda novo, o qual vem sendo estudado com o objetivo de conhecer suas características e seu desempenho estrutural sob diferentes condições. A maior dificuldade enfrentada no processo de produção do CPR diz respeito à exigência de uma minuciosa dosagem, considerando o estudo da granulometria dos pós utilizados e das respectivas características e influências no conjunto, além da necessidade de condições específicas de cura (VANDERLEI, 2004).

Quanto às suas aplicações, o CPR é uma solução com potencial para atender aos mais diversos requisitos de obras civis e militares, uma vez que apresenta características desejáveis, como a flexibilidade na definição das geometrias dos elementos, os quais podem apresentar seções mais esbeltas, mas ainda garantindo a capacidade de resistir aos esforços solicitantes (VANDERLEI, 2004).

Em conformidade com Christ (2019), o CPR é um compósito promissor e apresenta-se como uma alternativa atraente por apresentar ótimo comportamento mecânico e elevada durabilidade. Por outro lado, é evidente a necessidade de estudos mais aprofundados a respeito das características intrínsecas dos materiais constituintes, bem como de um método de dosagem que possa viabilizar a utilização do CPR em maior escala, expandindo as possibilidades de novas aplicações.

Assim, tendo em vista que o CPR trata-se de um material inovador e de grande potencial no desenvolvimento de soluções estruturais, o objetivo desta pesquisa consiste na realização de uma revisão bibliográfica a respeito deste material, abordando suas propriedades, definições e possíveis aplicações, visando a sua disseminação. Ademais, busca-se estudar os benefícios apresentados frente aos demais tipos de concretos, verificando-se também a viabilidade técnica e econômica de seu emprego.

Palavras-chave: Materiais de construção. Compósito. Desempenho estrutural. Inovação.

Keywords: Construction Materials. Composite. Structural performance. Innovation.

METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido através de uma pesquisa bibliográfica baseada em referências nacionais e internacionais, abordando conceitos e propriedades relacionadas ao CPR. Nesse sentido, analisando proposições e estudos de diferentes autores, buscou-se compreender os princípios que determinam o elevado desempenho do compósito, bem como, realizou-se um breve estudo a respeito da viabilidade do seu emprego.

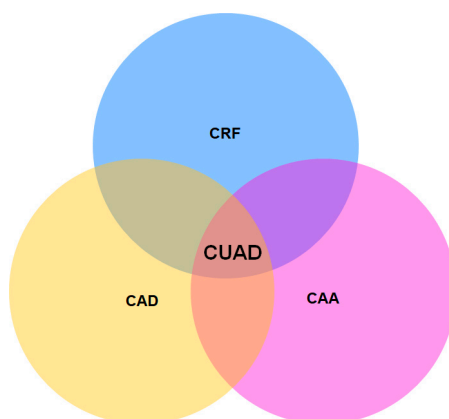
Desta forma, tendo em vista que o objetivo da pesquisa consiste na realização de um estudo, com a finalidade de contribuir na ampliação do conhecimento sobre o assunto no âmbito acadêmico, o método de abordagem deste trabalho caracteriza-se como qualitativo, a natureza é básica e os fins da pesquisa são exploratórios.

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Concreto Reforçado com Fibras (CRF), o Concreto de Alto Desempenho (CAD) e o Concreto Auto Adensável (CAA) são alguns dos concretos especiais mais utilizados atualmente. Para Torregrosa (2013), o Concreto de Ultra-Alto Desempenho (CUAD) é o resultado da combinação inovadora das principais propriedades e tecnologias dos CRF, CAD e CAA, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Diferentes tipos de concretos especiais.



Fonte: Adaptada de Torregrosa (2013).

Já para Tutikian, Isaia e Helene (2011), o CAD é um aperfeiçoamento do CC, assim como o CRP (um dos tipos de CUAD) é um aperfeiçoamento do CAD. O surgimento dos aditivos químicos e o estudo das adições minerais, como sílica ativa, metacaulim e cinza de casca de arroz, tornaram possível o desenvolvimento do CPR, conferindo ao material maior resistência, durabilidade e qualidade. Para Aïtcin (2008), o aumento da compacidade devido às dimensões dos grãos, aumento da homogeneidade pela ausência de agregados graúdos e o refinamento da microestrutura são os princípios básicos do conceito de CPR. Nesse sentido, Vanderlei (2004) também ressalta e descreve em sua pesquisa os princípios que diferem o CPR dos demais tipos de concretos, conforme apresentado de forma sistematizada na Tabela 1.

Tabela 1 – Princípios básicos do concreto de pós reativos.

Características	Formas de obtenção
Conjunto homogêneo	Eliminação dos agregados graúdos, análise granulométrica e determinação da quantidade de agregado miúdo
Maior da densidade	Aplicação do Método do Empacotamento das Partículas, uso de aditivo superplastificante, otimização do processo de mistura, pressão de confinamento no estado fresco
Melhor microestrutura	Uso de pós reativos selecionados e também submetidos ao Método do Empacotamento, cura térmica do concreto e baixa relação água/aglomerante (a/ag)
Maior ductilidade	Adição de fibras descontínuas

Fonte: Elaborada pelos autores, com base no estudo de Vanderlei (2004).

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Assim, o alcance destes princípios na produção do CPR é determinante para o seu desempenho. Torregrosa (2013), por exemplo, aborda em seu estudo as principais propriedades do concreto obtidas mediante a aplicação dos princípios básicos que definem o CPR, como a alta resistência mecânica, a elevada durabilidade e a ductilidade. O autor ressalta que a baixa relação a/ag, viabilizada pelo uso de aditivos químicos, proporciona a redução dos vazios capilares e com isso, evita a penetração e transporte de agentes agressivos, garantindo maior durabilidade.

Para Tutikian, Isaia e Helene (2011), a produção do CPR depende da precisão dos procedimentos utilizados e visa a formação de um compósito de alta resistência mecânica e durabilidade, sendo que, o princípio de formação da matriz baseia-se na utilização de partículas finas, adições minerais, aditivos e fibras, não possuindo agregados graúdos em sua composição. Mediante a utilização de pós de granulometria fina, devidamente dosados, tem-se maior compacidade da mistura e menor permeabilidade, além de conferir melhorias microestruturais as quais elevam o desempenho final do concreto em suas aplicações.

Ademais, a resistência também está relacionada com as dimensões dos grãos, ou seja, quanto menor a dimensão, maior é a superfície específica, o que torna a distribuição de cargas mais homogênea, minimizando assim o agrupamento de tensões em possíveis falhas da microestrutura (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

Outro material utilizado na produção do CPR são as fibras descontínuas, as quais conferem ao concreto melhorias quanto à ductilidade, resistência à fadiga, à tração e a impactos (FURLAN, 1995). Nesse sentido, Biz (2001) aponta que estudos trazem a incorporação de fibras de aço ao concreto e resulta em grande potencial para absorver esforços, melhorando a distribuição das tensões. Essa adição também confere maior controle no surgimento de fissuras, bloqueando a entrada de agentes agressivos na estrutura, aumentando a estanqueidade e durabilidade do empreendimento executado.

No contexto dos novos estudos a respeito de concretos especiais de última geração, Christ et al. (2019), por exemplo, apresentam uma aplicação do CPR realizada pela empresa New House de São Paulo, mediante a utilização do Método de Dosagem UNISINOS, proposto por Christ (2019), explorando na prática as propriedades de um CUAD. Este método de dosagem consiste em apresentar o menor número de vazios na mistura, através de uma boa distribuição granulométrica proporcionada pelo Método de Empacotamento das Partículas. Na Figura 2, pode-se observar o aspecto final de uma unidade habitacional construída pela empresa para demonstração do sistema construtivo.

Figura 2 – Unidade habitacional produzida com placas de CPR.



Fonte: Christ et al. (2019).

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Essa aplicação, resume-se no desenvolvimento de um sistema construtivo de casas pré-fabricadas, as quais são compostas por estrutura metálica e recebem revestimento interno e externo em formato de painéis de CPR de 1 centímetro de espessura. Com excelente resistência mecânica e durabilidade, recebendo entre as placas preenchimentos especiais com finalidade termoacústica e tendo um ótimo acabamento, o sistema foi pensado considerando o atendimento das normas de desempenho das edificações e a racionalização inteligente de recursos. Assim, pode-se inferir a viabilidade do emprego deste sistema construtivo na execução de habitações de interesse social em um futuro breve, por exemplo, pela qualidade proporcionada, pela agilidade no processo de produção e pelo maior custo-benefício final da solução, custo este que tende a sofrer redução mediante à disseminação e utilização do CPR em maior escala no mercado.

Nesse sentido, autores como Russel e Graybeal (2013) e Torregrosa (2013) afirmam que o custo por metro cúbico (m^3) de CPR acaba sendo mais expressivo em relação ao CC, principalmente por se tratar de uma alternativa relativamente nova, sendo que o alto custo está relacionado principalmente à obtenção dos pós reativos utilizados na mistura. Porém, se comparado a outras soluções estruturais, por exemplo, o CPR apresenta a vantagem possibilitar a execução de peças com seções mais esbeltas e até mesmo dispensar o uso de armadura, fatores os quais também devem ser considerados em possíveis análises de custos.

Além disso, em pesquisas de autores como Vanderlei (2004), Tutikian, Isaia e Helene (2011) e Perry (2015), pode-se verificar o estudo e a aplicação deste tipo de concreto em obras com requisitos especiais, como bases e edificações militares, estações de armazenamento e tratamento de resíduos poluentes e usinas nucleares, além de inúmeras aplicações em obras de infraestrutura e transporte, apresentado resultados e comportamentos satisfatórios frente a solicitações de diferentes naturezas e magnitudes. Já Bina (1999) ressalta que, de um modo geral, os benefícios da utilização do CPR em relação aos demais tipos de concretos são inúmeros, como por exemplo, a possibilidade de construção de estruturas mais leves, execução de grandes vãos, maior durabilidade, além de benefícios em relação à estética da edificação e otimização dos espaços.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Concreto de Ultra-Alto Desempenho produzido com Pós Reativos apresenta-se como um compósito inovador e atraente ao mercado do ponto de vista técnico, uma vez que oferece propriedades desejáveis e superiores em relação aos demais tipos de concretos. Assim, a escolha do CPR a ser aplicado em diferentes tipos de edificações, deve-se às principais características e propriedades do material, como a baixa permeabilidade, alta densidade, elevada resistência à compressão e à carga de impacto.

Pode-se verificar que, mesmo tendo um custo/ m^3 mais elevado, o CPR ainda pode ser uma alternativa economicamente viável, uma vez que possibilita a execução de estruturas mais esbeltas, com menor volume de concreto e menor área de aço necessária, para uma mesma capacidade de suporte. Além disso, a viabilidade de seu emprego pode justificar-se pela maior durabilidade e pouca necessidade de manutenções ao longo da vida útil da estrutura. Assim, a correta análise de viabilidade econômica, por sua vez, deve ser realizada através da verificação do custo final da solução e das projeções de vida útil do sistema e não pela comparação simplista dos custos unitários dos materiais empregados.

Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÏTCIN, P. C. **Binders for durable and sustainable concrete**. Abingdon: Taylor & Francis, 2008. Modern Concrete Technology, 16.

BINA, P. Concretos de pós reativos: uma revolução no conceito do concreto. **Revista Técnica**. 38. ed. São Paulo: PINI, 1999.

BIZ, C. E. **Concreto de Pós Reativos**. 2001. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

CHRIST, R. **Desenvolvimento de Compósitos Cimentícios Avançados à Base de Pós Reativos com Misturas Híbridas de Fibras e Reduzido Impacto Ambiental**. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, RS, 2014.

CHRIST, R. et al. Aplicação do Concreto de Ultra-Alto Desempenho (UHPC) em Sistema Construtivo Habitacional no Brasil. **Concreto e Construção-IBRACON**, São Paulo, p. 67-70, 2019.

CHRIST, R. **Proposição de um Método de Dosagem para Concretos de Ultra Alto Desempenho (UHPC)**. 2019. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, RS, 2019.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. 13. ed. rev. por Vladimir Antônio Paulon – São Paulo: Globo, 1998.

PERRY, V. H. **Case Studies on Innovative Applications and Challenges of Introducing Break-Through Technologies (UHPC) in the Construction Industry**. ACF Symposium on UHPC, Kolkata, India, 2015.

RICHARD, P.; CHEYREZY, M. Composition of reactive powder concretes. **Cement and Concrete Research** **25**, out. 1995. p. 1501-1511.

RUSSELL, H. G.; GRAYBEAL, B. A. **Ultra-High Performance Concrete: A State-Of-The-Art Report For The Bridge Community**. N. FHWA-HRT-13-060, McLean, 2013. 171 p.

TORREGROSA, E. C. **Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties**. 2013. Ph.D Thesis (Doctor Of Sciences UPV) – Universitat Politècnica de València, Spain, 2013.

TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. **Concreto: Ciência e Tecnologia - IBRACON**. São Paulo: Ibracon, 2011.

VANDERLEI, R. D. **Análise Experimental do Concreto de Pós Reativos: Dosagem e Propriedades Mecânicas**. 2004. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.



Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Parecer CEUA: 2208566