

Recebido:	Jul/2023
Publicado:	Dez/2023

TÉCNICAS DE MITIGAÇÃO DA RETRAÇÃO AUTÓGENA NO CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO (UHPC)

Fernando Aparecido Costa Barizão  0009-0006-0560-3881
 Universidade Estadual de Maringá
Rodrigo Mazia Enami  0009-0005-4202-4275
 Universidade Estadual de Maringá

RESUMO: As características únicas do concreto de ultra alto desempenho (UHPC) quanto a melhor eficiência em relação ao concreto convencional atraí cada vez mais pesquisadores para a sua aplicação em diversos segmentos da construção civil. O concreto de ultra alto desempenho (UHPC) são compósitos à base de cimento que apresentam melhor desempenho mecânico e durabilidade. Embora tenha características mecânicas excepcionais esse material sofre de retração autóloga superiores aos concretos convencionais graças ao baixo índice água cimento (a/c). Este trabalho teve por objetivo apresentar o panorama sobre a aplicação de métodos de mitigação da retração autóloga do UHPC através da análise qualitativa e quantitativa de publicações na área. Através

da *string* “ TITLE (*shrinkege AND of AND ultra-high AND performance AND concrete*) AND (LIMIT TO (SUBJAREA, “ENGI”) OR LIMIT TO (SUBJAREA, “MATE”))” utilizada na plataforma *Scopus* e a aplicação de filtros para refinar a pesquisa definiu-se os parâmetros que levou aos artigos selecionados para a revisão sistemática. Como resultado verificou-se que as pesquisas revisadas obtiveram grandes ganhos na mitigação da retração autóloga do UHPC, nas propriedades mecânicas e no aperfeiçoamento do UHPC. Ainda, a análise quantitativa evidenciou a crescente quantidade de publicações aplicadas nos últimos anos e o interesse de países desenvolvidos em utilizar o material e torná-lo viável.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência à Compressão. Revisão Sistemática da Literatura. Fibras.

TECHNIQUES FOR MITIGATION OF AUTOGENOUS SHRINKAGE IN ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE (UHPC)

ABSTRACT: The unique characteristics of ultra-high-performance concrete (UHPC) in terms of improved efficiency compared to conventional concrete are attracting more and more researchers to apply it in various segments of the

construction industry. Ultra-high performance concrete (UHPC) are cement-based composites that exhibit improved mechanical performance and durability. Although it has exceptional mechanical characteristics, this material suffers from autogenous shrinkage

higher than conventional concretes thanks to the low water-cement ratio (w/c). This paper aimed to present an overview of the application of autogenous shrinkage mitigation methods for UHPC through a qualitative and quantitative analysis of publications in the area. Through the string "TITLE (shrinkage AND of AND ultra-high AND performance AND concrete) AND (LIMIT TO (SUBJAREA, "ENGI") OR LIMIT TO (SUBJAREA, "MATE"))" used in the Scopus platform and the application of filters to refine the search it was defined the

parameters that led to the articles selected for the systematic review. As a result, it was found that the reviewed researches obtained great gains in the mitigation of autogenous shrinkage of UHPC, in the mechanical properties, and in the improvement of UHPC. Furthermore, the quantitative analysis showed the increasing amount of publications applied in recent years and the interest of developed countries in using the material and making it viable.

Keywords: Compressive Strength. Systematic Literature Review. Fibers.

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, tecnologias e materiais foram desenvolvidas para atender às necessidades estruturais, arquitetônicas, econômicas e de sustentabilidade. Como um dos materiais mais utilizados no campo da construção no mundo, novos tipos de concreto como o concreto autoadensável, o concreto de alta resistência, o concreto leve e o concreto resistente à força externa surgem conforme os tempos exigem (MANOJ; KUMAR; SANTHOSH, 2016).

Por definição, UHPC é um compósito cimentício feito de Cimento Portland, sílica ativa, pó de quartzo, água, aditivos super plastificantes e outros agregados finos, quando misturados, podem agregar alta qualidade propriedades como ductilidade, densificação sem segregação, A alta resistência é alcançada em poucos dias, com uma resistência superior a 150 Mpa no final da cura, fácil aplicação, resistência mecânica ao desgaste (METHA; MONTEIRO, 2008).

Pode-se citar também o concreto de ultra alto desempenho (UHPC), que, de acordo com a ACI 239 (2013), deve ter resistência à compressão de pelo menos 150 MPa e requisitos de durabilidade especificados em determinadas circunstâncias, com alta ductilidade e resistência à tração, além de fibras no material composto.

O UHPC tem potencial para ser amplamente utilizado por suas excelentes propriedades mecânicas e durabilidade. No entanto, características como o alto teor de partículas superfinais, a ausência de agregados graúdos e a relação água/cimento extremamente baixa levam a uma alta retração autógena, que também pode causar trincas.

A retração é um fenômeno associado a alterações macroscópicas no volume de peças cimentícias, sendo a fissuração o principal resultado patológico. Segundo Meira (2009), esse fenômeno é pouco estudado pela comunidade técnica por se tratar de uma propriedade complexa com múltiplos fatores influenciadores.

Existem inúmeros tipos de retração do concreto, incluindo retração plástica, retração por secagem, retração térmica, retração química e autógena. Já, dentre os muitos, os fatores que mais afetam a retração do concreto é a condição de secagem e a umidade na atmosfera.

De acordo com DENATRAN, BRASIL (1994) a Retração Plástica ocorre ainda no estado fresco do concreto devido a secagem rápida do concreto fresco pode levar à retração quando a taxa de perda de umidade superficial por evaporação excede a taxa disponível de água de infiltração. Nesta fase, a resistência à tração do concreto é muito baixa e rachaduras são propensas a ocorrer nesses casos.

No estado endurecido, o concreto perde água para o ambiente, quando a maior parte da água livre foi perdida e continuou a secagem, observou-se que a perda adicional de água começou a causar encolhimento considerável, o que por sua vez resultou em rachaduras nas bordas e empenamento. Essa contração é chamada de Retração por Secagem (BALTHAR, 2004).

A Retração Térmica ocorre durante o endurecimento do concreto, liberando calor durante o resfriamento fazendo com que o volume aumente e depois diminua, também conhecido como "retração exotérmica", pois o calor é transferido do interior do objeto para o ambiente por meio de uma reação química (DOMOME, 2010).

Segundo Bentur (2002), a retração química é a redução do volume interno associado à reação de hidratação, uma vez que o volume absoluto do produto de hidratação é menor que o volume de cimento anidro e água combinados.

No caso da retração autógena, esse é o resultado da redução da água livre nos poros, e a migração de água livre está envolvida na reação de hidratação. Esse movimento forma o menisco capilar, cuja tensão superficial faz com que a pasta encolha (BALTHAR, 2004).

Esse tipo de retração é determinado por fatores como a composição da mistura, portanto, varia de acordo com a composição do cimento, o uso de aditivos minerais, a finura do cimento e a quantidade e conteúdo total de adições minerais (BENTZ; JENSEN, 2004).

Para o UHPC esse fenômeno ocorre tipicamente em uma ordem de grandeza maior do que a do concreto simples (CC) devido à menor relação água-cimento (A/C) e ao uso de pós finos, como a sílica ativa.

YANG et al. (2019) comparando os estudos de ZHANG et al. (2003) e DEBOODT et al. (2016) observou que retração autógena no concreto de ultra alto desempenho em 7 dias é 5,25 vezes maior que a retração autógena verificada em 98 dias no concreto convencional.

Embora considerada evitável, a retração autógena é um fenômeno de difícil controle. Silva e Dantas (2005) afirmam que o simples fato de o concreto não retrair de forma autógena com os procedimentos de cura, o que não é um consenso no meio científico, tem dividido muitos pesquisadores sobre a questão.

A alta retração pode resultar em rachaduras potenciais e, eventualmente, redução da resistência e durabilidade do concreto. Várias abordagens podem ser usadas para mitigar a retração autógena com base no mecanismo de restrição. Estes incluem controle da reação de hidratação, adição de contenção internos, redução da tensão superficial da solução de poros,

formação de produtos expansivos e reposição de água por meio de cura interna (YANG et al., 2019).

Portanto, a crescente busca de novas aplicações do UHPC na construção civil e a constante necessidade de entender o comportamento desse material no aspecto da retração autógena, demonstra a necessidade de compreender como os pesquisadores vem apresentando inovações nesta área. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática da literatura para a identificação os mecanismos e os métodos de combate a retração autógena no Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC).

1 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho baseia-se na metodologia de revisão sistemática da literatura (RSL), por meio de pesquisa científica, que reúne estudos relevantes sobre problemas definidos.

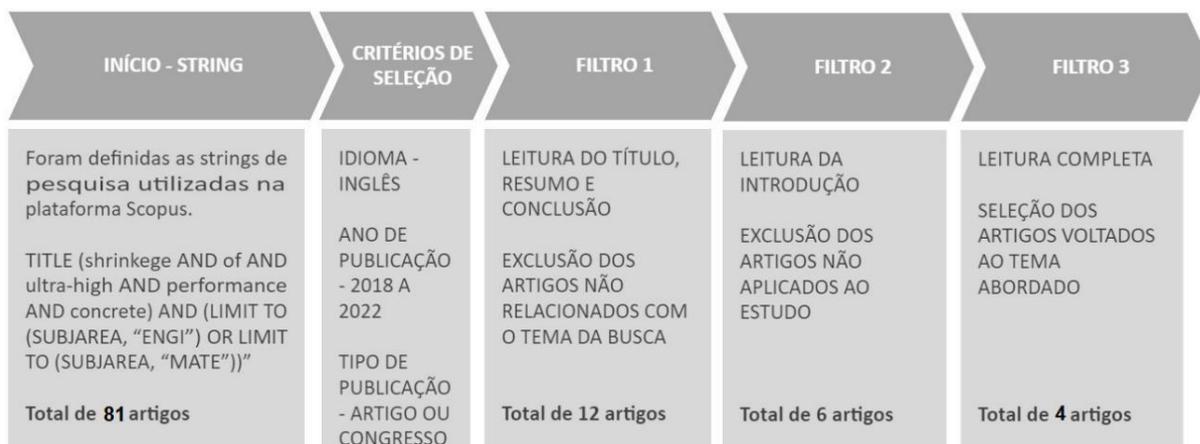
De acordo com Cook e Cols (1997), o uso da RSL permite que pesquisadores adquiram e coordenem dados de forma mais organizada e eficiente, permitindo que melhores resultados sejam analisados e obtidos, e definam diretrizes para futuras pesquisas sobre temas de interesse.

Primeiramente, para o levantamento de literatura foi escolhido a plataforma Scopus, que possui um banco de dados de inúmeras publicações na área de engenharia e materiais.

Posteriormente, foram definidas as *strings* de pesquisa utilizadas na plataforma *Scopus*. Portanto, o termo “ TITLE (shrinkage AND of AND ultra-high AND performance AND concrete) AND (LIMIT TO (SUBJAREA, “ENGI”) OR LIMIT TO (SUBJAREA, “MATE”))”, foi utilizado para limitar a busca às publicações sobre o problema abordado, totalizando 81 publicações.

Os critérios de inclusão também foram utilizados para refinar a busca e limitar as publicações analisadas de forma mais relevante e atual, de modo que foram utilizadas apenas publicações dos últimos cinco anos (2018-2022), escritas em inglês e publicadas como artigos ou conferências, resultando em 12 artigos.

Após uma busca inicial e critérios de exclusão, as publicações resultantes passaram por um processo de filtragem em 3 etapas para refinar ainda mais a busca, limitando-a apenas às publicações que destacaram as questões abordadas neste trabalho. A Figura 1 mostra o processo de seleção e filtragem para cada etapa de conclusão e o número de publicações resultante.

Figura 1. Fluxograma da pesquisa.

Fonte: O autor (2022)

Portanto, ao final da leitura completa do artigo, temos os resultados de 4 publicações relacionadas a este trabalho para identificar o comportamento do UHPC referente a retração autógena e os meios de combatê-la.

2 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após filtrar a etapa 3, através de uma leitura completa das publicações foi possível analisar o conteúdo dos artigos sobre a identificação dos mecanismos e os métodos de combate a retração autógena no Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC).

Wu et al.. (2018), desenvolveram uma pesquisa na qual foi analisado as propriedades mecânicas e de retração autógena do UHPC com a influência do teor e da forma das fibras de aço, tendo como objetivo investigar os efeitos do percentual e forma da fibra na resistência mecânica, tenacidade e retração autógena e de secagem de UHPC.

Para isso foram empregados três formatos de fibra de aço, incluindo fibras retas, corrugadas e em forma de gancho, com fração de volume variando de 0, 1%, 2% e 3%, sendo avaliados a resistência compressão e flexão da fibra da matriz.

A resistência à compressão do UHPC aumentou gradativamente com o aumento do teor de fibra. Os espécimes de referência sem nenhuma fibra exibiram uma resistência à compressão de 115,3 MPa. A incorporação de 1%, 2% e 3% de fibras retas aumentou a resistência para 124,8, 142,2 e 152,4 MPa, respectivamente. Tais valores foram 8%, 23% e 32% superiores aos da mistura não fibrosa (WU et al., 2018).

Conforme os autores o aumento da resistência à compressão deve-se ao aumento da densidade e rigidez na presença de fibras de aço, além disso observaram que a forma da fibra também pode influenciar na resistência à compressão do UHPC.

O UHPC feito com 2% de fibras corrugadas e em gancho apresentou resistências à compressão de 151,6 e 153,6 MPa, respectivamente, 7% e 8% maiores que a da mistura feita com 2% de fibras retas. Pelo o observado isso ocorreu porque as extremidades deformadas das fibras podem restringir o início e a propagação de trincas durante o carregamento, logo os autores concluíram que o uso de fibras deformadas levou a uma maior resistência à compressão (WU et al., 2018).

Quanto a retração autógena, a pesquisa de Wu et al. (2018), demonstrou que a incorporação de fibras de aço reduziu significativamente a retração em comparação com a mistura de referência feita sem nenhuma fibra.

O uso de 1% de fibras retas diminuiu a retração em 17% após 16 h. Tais valores foram de aproximadamente 50% e 53% para misturas com 2% e 3% de fibras de aço, respectivamente. As fibras orientadas aleatoriamente em UHPC podem diminuir a tensão de retração exercida pelos poros capilares, aliviando assim a concentração de tensão. Comparado com a mistura com 2% de fibras retas, o uso de 2% de fibras onduladas e em gancho reduziu a retração autógena em 14% e 25%, respectivamente. Isso está relacionado ao aumento da força de ligação da fibra com a matriz (WU et al., 2018).

Outro estudo levantado foi o de Ren et al. (2021), que analisaram a utilização de fibras naturais de sisal para a fabricação do UHPC ecológico com baixa retração autógena. A pesquisa buscou explorar um novo método para reduzir a retração autógena do concreto de ultra-alto desempenho através da incorporação de fibras naturais de sisal com volume de incorporação de 0,0, 0,5, 1,0 e 1,5 da porcentagem em volume da mistura em fibras nomeados respectivamente em ST1.0-SI0.0, ST1.0-SI0.5, ST1.0-SI1.0 e ST1.0-SI1.5.

Os autores observaram que o encolhimento autógeno em UHPC aparece principalmente em idade precoce. Quando 0,5, 1,0 e 1,5 vol% de fibras de sisal foram adicionados, o encolhimento autógeno da amostra em 7 dias foi reduzido em 23,2%, 45,3% e 71,4%, respectivamente, em comparação com a amostra ST1.0-SI0.0.

Os resultados mostram que as fibras de sisal podem liberar umidade absorvida à medida que a umidade relativa diminui nas amostras de UHPC. A adição de fibras de sisal limita o processo de hidratação do cimento e retarda o tempo de pega (REN et al., 2021).

Conforme os autores a resistência a compressão em 28 dias das amostras com 0,5, 1,0 e 1,5 vol% de fibras de sisal diminuíram respectivamente 7,7%, 8,2% e 8,2%. A adição de fibras de sisal aumenta a porosidade e a zona de transição interfacial no UHPC o que tem um impacto negativo na resistência à compressão (REN et al., 2021b apud. REN et al., 2021).

Finalmente, avaliações ambientais e de custo mostram que o uso de fibras renováveis de sisal como material redutor de encolhimento pode reduzir o custo de produção e a pegada de carbono do UHPC e, portanto, tem implicações importantes para a produção sustentável de UHPC (REN et al., 2021).

Liu et al. (2022), em seu estudo buscou analisar os mecanismos de retração autógena em UHPC, preparado com agregado fino poroso pré-úmido (PFA). O PFA foi preparado para a incorporação no UHPC com diferentes teores de umidades denominados C0 (referência) PFA1 (c10, c20 e c30), PFA2 (c10, c20 e c30) e PFA3 (c10, c20 e c30), respectivamente 0% (referência), 19%, 25% e 31% de umidade.

Os autores verificaram que a liberação máxima de água absorvida pelos agregados dentro do UHPC das classes PFA1, PFA2 e PFA3 é 91,1%, 89,0% e 88,2% respectivamente. Quando PFA com uma baixa taxa de absorção de água é incorporado, um notável aumento de compensação de resistência pode ser observado nos estágios posteriores de UHPC, a resistência à compressão de PFA1C10, PFA1C20 e PFA1C30 aumentou 37%, 38% e 36% aos 56 dias, respectivamente. Isso pode ser atribuído à dessorção de água do PFA, que promove maior hidratação das partículas de cimento anidro em UHPC e hidratação secundária.

Além disso, os autores determinaram um padrão de evolução típico para o UHPC, que pode ser dividido em três estágios, rotulados como encolhimento rápido (Estágio I), micro expansão (Estágio II) e encolhimento contínuo (Estágio III), respectivamente.

Notavelmente, o efeito de redução do encolhimento das misturas de PFA3C20 e PFA3C30 é notável próximo de 50%. No entanto, suas resistências à compressão de 56 dias são reduzidas em 15% e 30%, respectivamente, o que não atende aos requisitos de resistência da matriz UHPC (LIU et al., 2022).

Comparado com o grupo de referência (C0), o encolhimento autógeno de 7 dias de PFA2C30 e PFA3C30 do Estágio I foi reduzido em 34% e 48%, respectivamente. Além disso, o PFA1C30 apresenta uma diminuição de 60% no total de 7 dias de retração autógena a partir do Estágio I e do Estágio II (LIU et al., 2022).

Pelos resultados obtidos, os autores concluíram que o uso de PFA pré-umido com baixa absorção de água e alto nível de reposição (PFA1C30) é uma ótima estratégia para projetar UHPC com estabilidade volumétrica e propriedades mecânicas avançadas.

Já a pesquisa de Li at al (2021), analisou a incorporação de agentes expansivos MgO na mitigação autógena do UHPC. O trabalho tinha como objetivo avaliar a eficiência de vários agentes expansores de MgO (MEA) com diferentes atividades na deformação por retração precoce de UHPC.

Três agentes expansivos de MgO (MEA) foram fornecidos pela empresa Sanyuan (província de Hubei, China), cujos valores de reatividade foram 75 s, 130 s e 220 s de acordo com o padrão chinês CBMF-2017, e foram designados como R-MEA (3%, 6% e 9%), M-MEA (3%, 6% e 9%) e S-MEA (3%, 6% e 9%), respectivamente.

A incorporação de MEA com diferentes atividades diminuiu a resistência à compressão do UHPC se comparado ao grupo de referência. Para a série R-MEA UHPC, a resistência à compressão das amostras RMEA30, R-MEA60 e R-MEA90 às idades de 28 dias foi diminuída em 9,9 MPa, 10,9 MPa e 13,7 MPa, respectivamente, em comparação com as amostras REF (LI at al, 2021).

Finalmente, as retrações autógenas dos espécimes de UHPC foram reduzidas com o aumento dos teores de R-MEA. Quando os teores de adição de MEA foram de 3%, 6% e 9%, as retrações autógenas de UHPC foram reduzidas em 44,5%, 59,5% e 58,9%, respectivamente. Isso indica que as deformações autógenas do UHPC são efetivamente compensadas quando o cimento é substituído por R-MEA (LI at al, 2021).

Os autores observaram que o alto reativo (R-MEA) teve um excelente impacto de compensação na retração autógena do sistema UHPC em comparação com o M-MEA e S-MEA. Isso se deve ao fato de que o MgO altamente reativo se hidratou mais rapidamente e, portanto, produziu mais expansão para compensar o encolhimento do UHPC em idade precoce. Em comparação com REF, a adição de 6% em peso de R-MEA diminuiu a deformação autógena em 59,5%.

De acordo com os resultados deste estudo, diferentes UHPC de expansão podem ser preparados com várias reatividades de MEA. O comportamento de expansão pode ser ajustado alterando não apenas a reatividade do MEA, mas também o conteúdo de incorporação. Isso fornecerá uma maneira nova e eficiente de mitigar o encolhimento autógeno de UHPC.

Observando os estudos publicados é unanime que a utilização de fibras independentemente de serem em aço ou naturais tendo como exemplo a fibra natural de sisal reduzem significativamente a retração autógena no concreto de ultra alto desempenho, também ganhando resistência a compressão no caso do uso de fibras de aço.

Como visto, Wu et al (2018) utilizou fibras de aço de diferentes formas para redução da retração autógena do UHPC. No quesito retração autógena as fibras corrugadas e em gancho tiveram um desempenho inferior ao das fibras retas. O uso de 2% de fibras corrugadas e gancho obtiveram a redução de 14% e 25% na retração autógena. Com essa mesma adição de 2% as fibras retas conseguiram diminuir em 50% a retração autógena, além de apresentar um ganho de resistência de 142,2 Mpa, logo a adição de 2% de fibras retas no UHPC mostrou-se como uma solução para mitigar a retração sem afetar a resistência.

Diferentemente no estudo feito por Ren et al. (2021) foi utilizado fibras como agente restritivo de retração autógena, ao contrário do uso de fibras de aço, o autor fez o uso de fibras naturais de sisal para o estudo. As fibras de sisal, além de reduzirem a retração, agem também como agentes de cura interna, isso se deve a liberação da água presente nas fibras para o UHPC.

A resistência desempenhada pela adição das fibras de sisal no concreto de ultra alto desempenho foi negativa, de acordo com a porcentagem de adição do teor de fibras a resistência decaiu. As fibras foram adicionadas em porcentagens que variam do teor de 0,5%, 1,0% e 1,5%, e as resistências em 28 dias tiveram um declive de 7,7%, 8,2% e 8,2% isso em Mpa se caracteriza em 101,0 Mpa, 97,0 Mpa e 95,0 Mpa. Em contrapartida a redução da retração tem um resultado positivo com as adições de 0,5%, 1,0% e 1,5% a diminuição da retração foi de 23,2%, 45,3% e 71,4% respectivamente.

Ambos os autores demonstram resultados promissores com a utilização de fibras na redução da retração autógena e do comportamento do UHPC. Notoriamente as fibras de aço desempenham um comportamento diferente das fibras de sisal, ambas têm uma redução significativa na redução da retração autógena, a questão principal é a diminuição das resistências com o uso das fibras de sisal.

No quesito ambiental, se for considerado que o declive da resistência com o uso da fibra de sisal é inferior a 10%, essa adição demonstra um grande potencial ao levar o UHPC para uma pegada mais sustentável em comparação ao tradicional. Já Liu et al. (2022) e Li et al. (2021), tiveram uma perspectiva diferente de agentes a serem usados para minimizar a retração

autógena do UHPC, diferentemente de Wu et al. (2018) e Ren et al. (2021), que utilizaram fibras para essa função.

Liu et al. (2022) fez o estudo da adição de agregado fino poroso pré-úmido (PFA), para mitigar os efeitos da retração autógena e Li et al. (2021) usou a técnica de adição de adicionar agentes expansivos (MEA).

Os autores constataram que a retração autógena pode ser classificada em três estágios diferentes, nomeados em Estágio I (encolhimento rápido), Estágio II (micro expansão) e o Estágio III (encolhimento contínuo). Ainda segundo os autores, a adição do PFA diminui a resistência nos estágios iniciais, mas ela é compensada nos estágios mais tardios.

Além disso percebeu-se que as classes analisadas cujo o PFA continha taxas de liberação de água menores tem um maior fator de queda de resistência, mesmo que a retração autógena tenha uma queda de 50%. Já as classes com maiores taxas de liberação de água, como a PFA1, com uma taxa de 91,1% de liberação de água, apresentaram melhores valores resistência aos 56 dias.

Outro fator de influência é a retenção de água pelo agregado poroso em sua preparação. As classes com maior retenção de umidade apresentaram menor liberação de água e conseqüentemente menor resistência.

No trabalho desenvolvido por Li et al. (2021), a série R-MAE teve uma resposta melhor em comparação com os outros agentes levando em consideração a redução da retração.

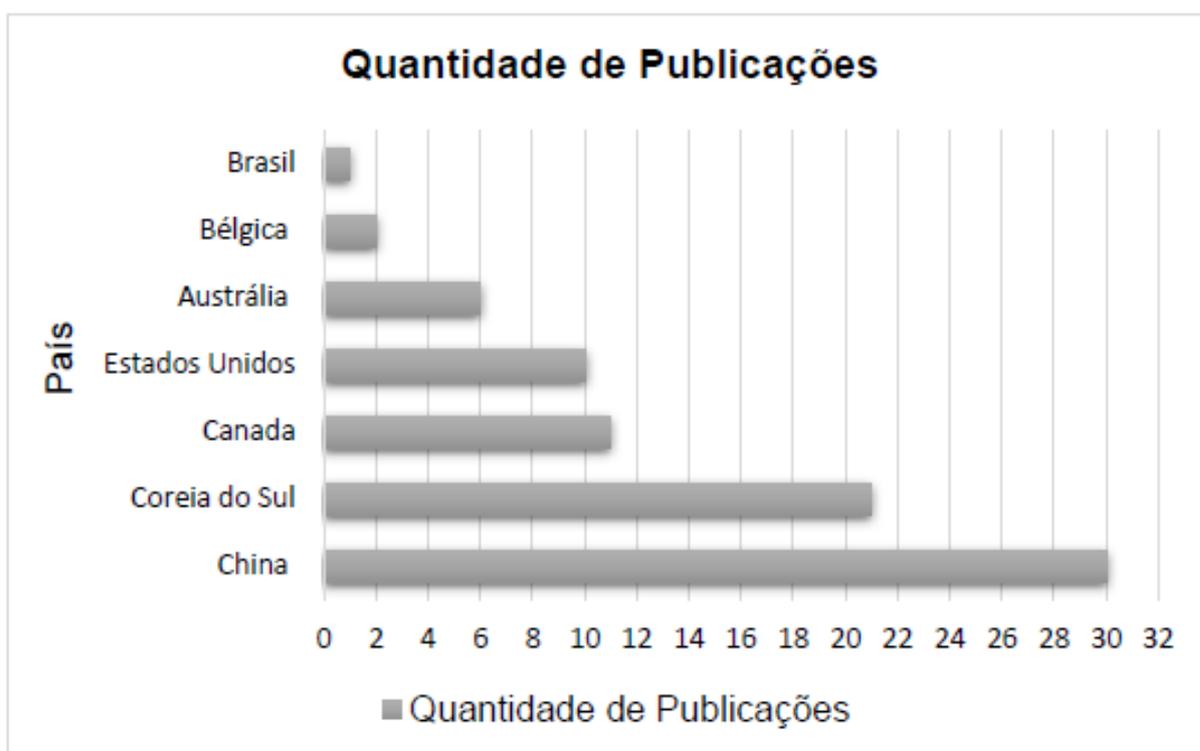
O alto reativo (R-MEA) teve um excelente impacto de compensação na retração autógena do sistema UHPC se comparados com as outras séries estudadas, porém o seu uso reduz a resistência à compressão. Logo a porcentagem de MEA, utilizada como adição de agentes expansores na mistura, deve ser ponderada no UHPC.

Em contramão disso. o estudo de Liu et al. (2022), a classe PFA1C30, obteve resultados na mitigação da retração similares ao do estudo realizado por Li et al. (2021), onde o uso de PFA reduziu a retração autógena em 60%, a grande diferença foi que as resistências não foram comprometidas, ao contrário do estudo de Li et al. (2021), cujos resultados constatam um aumento da resistência da classe PFA1 em até 38%.

Relacionada à análise qualitativa produzida pelo filtro da pesquisa bibliográfica, a análise quantitativa também pode obter informações relevantes sobre a dispersão das publicações pelo mundo, onde as bases de dados e filtros utilizados para leitura dos artigos mostram que poucos países focam no uso de mecanismos para mitigar a retração autógena no

UHPC. Conforme mostra a Figura 2, pode-se observar que 30 das 81 publicações selecionadas após a primeira etapa de busca são centralizadas na China, seguidas pela Coreia do Sul, Canada, EUA e Austrália. Todas as publicações triadas por pesquisadores da China nesta RLS foram publicadas em periódicos internacionais com classificação Excelente no Qualis Capes.

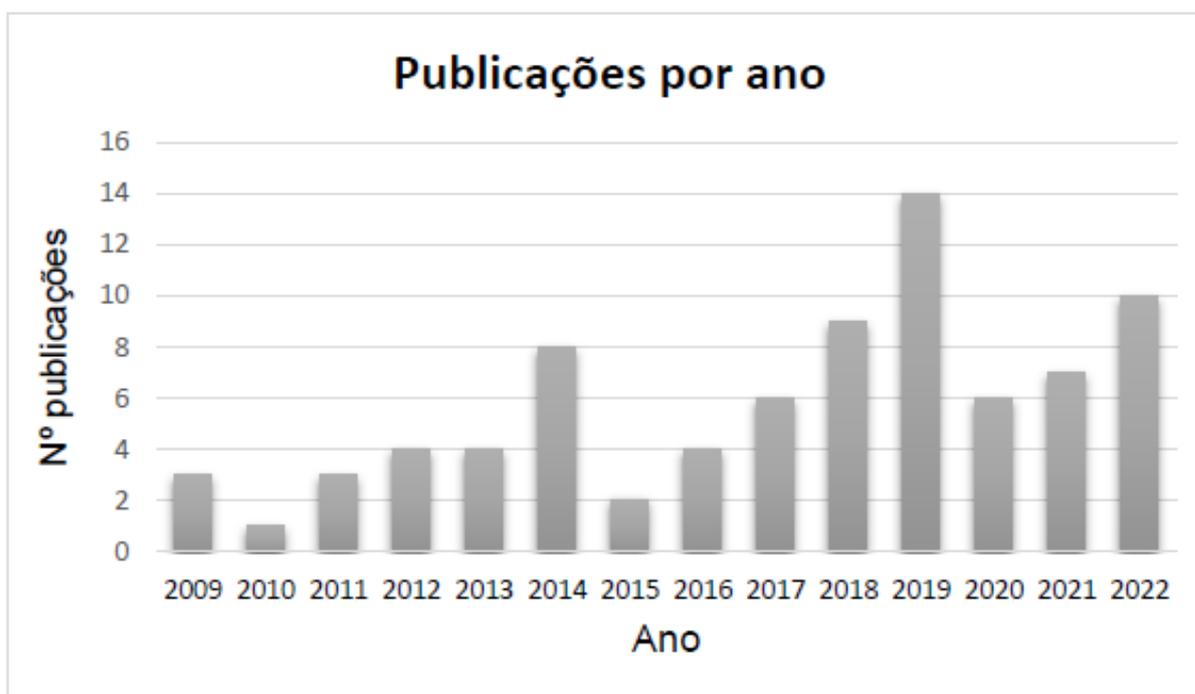
Figura 2. Quantidade de Publicações sobre UHPC no mundo.



Fonte: O autor (2022)

Constatou-se ainda que, apesar de poucos países concentrarem as publicações, o interesse dos pesquisadores pelo assunto vem aumentando, inclusive no Brasil através da Universidade Federal de Santa Catarina, que fez uma publicação sobre a temática.

Em 2019 antes da pandemia a quantidade de publicações dobrou, demonstrando o interesse dos países e instituições de pesquisas em aprofundar na temática e no comportamento do UHPC, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Quantidade das publicações por ano.

Fonte: O autor (2022)

3 CONCLUSÃO

As publicações analisadas nesta revisão sistemática demonstram avanços nas técnicas de mitigação autógena do UHPC, sendo que as melhorias se concentram no campo da redução da retração autógena almejando um material que não prejudique as resistências do UHPC, possibilitando o emprego desse material com as melhorias empregas.

Também foi observado que as publicações selecionadas por meio do uso dos filtros estabelecidos estão principalmente preocupadas com mitigação da retração no UHPC e levando em consideração suas propriedades mecânicas. Deste modo ainda a um amplo campo na engenharia, que precisa ser explorada e estudada.

Todavia, como reflexo da demanda atual, a pesquisa e aplicação prática do UHPC na engenharia esbarra no custo de implantação da tecnologia em larga escala, e embora o custo seja reduzido ao longo do tempo, é necessário ampliar o UHPC para a indústria de fabricação de concreto, para que seu uso em larga escala seja viável financeiramente.

Portanto, a baixa demanda do UHPC também leva a um baixo investimento em pesquisa sobre o tema, onde poucos países investem e concentram todas as pesquisas acerca dos problemas que podem ser solucionados com a sua utilização.

No entanto, dados os enormes avanços nas pesquisas e o leque de possibilidades de melhorias de desempenho, os dados mostram uma visão positiva do futuro dos estudos de retração autógena do UHPC.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BALTHAR, V. K. B. L., **Retração autógena e evolução de propriedades mecânicas de pastas pozolânicas**. 128 p. 2004. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

BENTUR, A., **Terminology and definitions: Proceedings of the Early age cracking in cementitious systems**. RILEM, pp. 13-15, 2002.

BENTZ, D. P., JENSEN, O. M., **Mitigation strategies for autogenous shrinkage cracking**. Cement and Concrete Research, v. 26, pp. 677-685, 2004.

DANTAS, A. B.; SILVA, F. G. S. Estudo sobre retração autógena em concretos de alto desempenho (CADs). In: IX ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓSGRADUAÇÃO. Anais eletrônicos... Paraíba: Universidade do Vale do Paraíba. 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Fissuras em concreto**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br>>. Acesso em: 20 setembro 2022.

DOMONE, P. L. **A review of the hardened mechanical properties of selfcompacting concrete**. 2010.

DOI 10.33872/revcalungaae.v1n2.e009

| v. 1, n. 2 | Jul./Dez. | e-ISSN 2966-0378

LI, S.; MO, I.; DENG, M.; CHENG, S. Mitigation on the autogenous shrinkage of ultra-high performance concrete via using MgO expansive agent. **Construction and Building Materials**, n. 312, 2021.

LIU, K.; LONG, Y.; CHEN, L.; LING, X.; YU, R.; SHUI, Z.; FEI, S.; YU, W.; LI, C.; GE, K. Mechanisms of autogenous shrinkage for Ultra-High Performance Concrete (UHPC) prepared with pre-wet porous fine aggregate (PFA). **Journal of Building Engineering**, n. 54, 2022.

MANOJ; KUMAR, S.; SANTHOSH. **Behaviour of mechanical properties of ultrahigh performance concrete with steel fibres and mineral admixtures**. International Journal of Research in Engineering and Technology, v. 05, n. 09, p. 299–305, 25 set. 2016.

MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MEIRA, L. R. **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento de moagem**. 115 p. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade de Santa Maria (UFSM) – Santa Maria – RS, 2009.

REN, G.; YAO, B; REN, M.; GAO, X. Utilization of natural sisal fibers to manufacture eco-friendly ultra-high performance concrete with low autogenous shrinkage. **Journal of Cleaner Production**, n. 332, 2022.

WU, Z.; SHI, C.; KHAYAT, K. H. Investigation of mechanical properties and shrinkage of ultra-high performance concrete: Influence of steel fiber content and shape. **Composites Part B**, n. 174, 2019.

YANG, L.; SHI, C.; WU, Z. Mitigation techniques for autogenous shrinkage of ultra-high-performance concrete – A review. **Composites Part B**, n.178, 2019.