

# Estudo das Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Concretos com Adições Minerais: Contribuição por Meio de Meta-Análise, Mapeamento e Revisão Sistemática de Literatura para Delineamento de Futuras Pesquisas no Tema

*Study of Properties in the Fresh and Hardened State of Concrete with Mineral Additions: Contribution through Meta-Analysis, Mapping and Systematic Review of Literature for the Outline of Future Research on the Topic*

Jéssica R. dos Santos<sup>1</sup>

 [orcid.org/0000-0002-6331-1514](https://orcid.org/0000-0002-6331-1514)

Andrielli M. Oliveira<sup>2</sup>

 [orcid.org/0000-0001-8977-785X](https://orcid.org/0000-0001-8977-785X)

Oswaldo Cascudo<sup>3</sup>

 [orcid.org/0000-0003-1879-6396](https://orcid.org/0000-0003-1879-6396)

<sup>1,2,3</sup> Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós - Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil - PPGGECON, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiás, Brasil.  
E-mail: [jesrodriguesantos@gmail.com](mailto:jesrodriguesantos@gmail.com)

DOI: 10.25286/rep.v8i3.2174

Esta obra apresenta Licença [Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Como citar este artigo pela NBR 6023/2018: Jéssica R. Santos; Andrielli M. Oliveira; Oswaldo Cascudo. Endurecido de Concretos com Adições Minerais: Contribuição por Meio de Meta-Análise, Mapeamento e Revisão Sistemática de Literatura para Delineamento de Futuras Pesquisas no Tema. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v.8, n. 3, p. 50-60, 2023. DOI:10.25286/rep.v8i3.2174

## RESUMO

As propriedades do concreto no estado endurecido são também reflexo das características no seu estado fresco. Estudos de reologia e otimização de dosagens de concreto de cimento Portland assumem um papel importante na correlação com propriedades mecânicas, durabilidade e de desempenho em campo. Assim, por meio da Revisão Sistemática de Literatura (RSL), é objetivo deste artigo sintetizar ensaios no estado fresco e de reologia associados pela literatura com o estado propriedades ao endurecido de pastas e concretos, observando-se também os tipos e percentagens de adições minerais mais comumente utilizadas para delineamento de futuras pesquisas no tema de reologia. Para tanto, *strings* de busca foram definidas e pesquisadas nas principais bases científicas. Como resultado tecnológico, após análise das publicações, observou-se que os ensaios de abatimento de tronco de cone, funil V, caixa L e *mini-slump* foram comumente mencionados nos estudos, bem como as adições minerais cinza volante e sílica ativa em respectivos teores 10 a 25% e de 2 a 10% em substituição parcial ao cimento Portland. Além disso, análises de porosidade, de microestrutura e de penetração de cloretos foram as principais propriedades dos concretos no estado endurecido relacionada a durabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reologia; Estado Fresco; Concreto; Adições Minerais; Durabilidade;

## ABSTRACT

The properties of concrete in its hardened state are also a reflection of the characteristics in its fresh state. Portland cement concrete rheology and optimization studies play an important role in the correlation with mechanical properties, durability and field performance. Thus, through the Systematic Literature Review (RSL), the aim of this article is to analyze the main tests in the fresh and hardening states of pastes and concrete, also observing the types and percentages of mineral additions most commonly used to design future research on the subject. For this purpose, search strings were defined and searched in the main scientific databases. As a technological result, after analyzing the publications, it was observed that the slump tests, V funnel, L box and mini-slump were commonly mentioned in the studies, as well as the mineral additions fly ash and silica fume in respective contents 10 to 25% and 2 to 10% in partial replacement of Portland cement. Besides that, porosity and microstructure analyze and chloride penetration were the main properties of concretes in the hardened state related to their durability.

**KEY-WORDS:** Rheology; Fresh State; Concrete; Mineral Additions; Durability.

## 1 INTRODUÇÃO

A reologia é a ciência que estuda a deformação de um corpo sólido, líquido ou gasoso sob influência de tensões. De acordo com [1-3], há um entendimento de que as propriedades reológicas fundamentais para a representação do concreto no seu estado fresco são a tensão de escoamento e a viscosidade plástica. As características reológicas são fundamentais para entender um dos principais parâmetros do concreto na construção civil: a trabalhabilidade.

Adicionalmente, a consistência e a fluidez do concreto podem ser expressas em termos de tensão de escoamento (que é a tensão mínima necessária para iniciar o fluxo) e viscosidade plástica (resistência de um material à deformação contínua) – a partir de curvas de fluxo, modelos e equações reológicas [4-7]. Logo, as propriedades do concreto em seu estado fresco podem ser avaliadas quali e quantitativamente utilizando-se parâmetros reológicos, como a fluidez – traduzida em termos de coesão e viscosidade; a consistência, enquanto densidade e empacotamento de partículas e, ainda a homogeneidade em forma de segregação e exsudação, sendo que todas essas propriedades resultado da reologia [7,8].

Para estudos mais complexos e aprofundados, é atraente abordar pesquisas mais simplificadas em pastas, avançando-se para concretos com a interveniência de agregados [7,9-10]. Em campo e de forma mais rápida em laboratório, ensaios de abatimento, funil V, caixa L, entre outros são muito utilizados, porém, estes ensaios não são capazes de medir e correlacionar variáveis como propriedades de tensão de escoamento, tensão cisalhante, temperatura, tempo, dentre outras [11].

A literatura relata que granulometria da composição, finos, adições minerais, aditivos, energia e tempo de mistura podem influenciar o comportamento de pastas e concretos no estado fresco da mistura. Especificamente sobre as adições minerais, há controvérsias sobre seu uso e melhorias na trabalhabilidade e no comportamento mecânico e durabilidade no estado endurecido [12-21].

Em paralelo, destaca-se que a revisão sistemática da literatura – RSL é uma forma de revisão [22] e é um instrumento útil, uma vez que proporciona a reunião, a organização e a posterior avaliação das informações disponíveis, a partir de pesquisas anteriores e, em sequência, a consolidação dessas informações. A categorização de informações por meio de RSL tem sido utilizada em vários trabalhos

científicos e em várias áreas do conhecimento [22-26].

Neste contexto, é objetivo do presente trabalho conduzir uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para analisar as principais propriedades no estado fresco de pastas e concretos de cimento Portland, observando-se também os tipos e percentagens de adições minerais mais comumente utilizadas com o foco para o delineamento de futuras pesquisas no tema de reologia. Observou-se, ainda, as metodologias de ensaios e normatizações pertinentes usualmente empregadas para a caracterização do concreto no seu estado fresco e no estado endurecido.

A contribuição e relevância do artigo é a reunião destas informações em um único documento, sendo o seu diferencial a sintetização desses dados para futuras consultas/verificações sobre o assunto e um maior embasamento do tema.

## 2 METODOLOGIA

A Revisão Sistemática de Literatura (RSL) consiste em uma investigação detalhada e direcionada em identificar, selecionar, analisar e sintetizar as informações mais pertinentes sobre o assunto estudado. A RSL é composta por três fases: planejamento (elaboração de um protocolo de revisão), condução (seleção dos estudos) e documentação (extração de dados e análises detalhadas dos trabalhos selecionados) [27-29].

De forma resumida, na primeira etapa da revisão foi determinada a questão da pesquisa com base na metodologia de P.I.C.O.C - população, intervenção, controle, *outcomes* (resultados) e *context* (aplicação), seguida da seleção das fontes de pesquisa, determinação de *string* de busca e utilizando estratégias para a seleção de artigos (critérios de inclusão ou exclusão a partir da leitura de títulos, resumos e o artigo completo).

Na segunda fase foi realizada a busca a partir da *string* definida na etapa anterior e observada a seleção dos artigos, a partir dos critérios de inclusão ou exclusão dos mesmos, com base na leitura, primeiramente de títulos, seguida dos resumos e da leitura do artigo completo. Por fim, na documentação foi observada a extração e o levantamento de dados dos artigos e a análise bibliométrica e qualitativa do material levantado.

A análise do P.I.C.O.C. (Quadro 1) foi realizada com o intuito de formar uma base para a elaboração das questões de pesquisa.

**Estudo das Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Concretos com Adições Minerais: Contribuição por Meio de Meta-Análise, Mapeamento e Revisão Sistemática de Literatura para Delineamento de Futuras Pesquisas no Tema**

**Quadro 1:** Análise da P.I.C.O.C.

P.I.C.O.C.	
<b>População</b>	Livros, dissertações, teses, artigos e normas que contenham conteúdos relacionados com conceitos e ensaios sobre reologia de pastas de cimento e concreto
<b>Intervenção</b>	Caracterização reológica de pastas de cimento e concretos e estudo de técnicas e procedimentos de ensaios de reologia em pastas e concretos, exceto de materiais asfálticos e outros tipos de materiais.
<b>Controle</b>	- Schramm, G. 2006 (livro "Reologia e Reometria") - Reis, J. 2008 (dissertação "Determinação de Parâmetros Reológicos de Concretos, por meio, do Ensaio de Abatimento de Tronco de Cone Modificado: Estudo de Caso.") - Castro, A. 2007 (tese - "Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho")
<b>Resultados (outcomes)</b>	Obter informações e análises que sejam o suficiente para compreender as metodologias de ensaio baseando-se nos princípios reológicos do material, identificar normas que auxiliam nesse processo.
<b>Aplicação (context)</b>	Obtenção de embasamento teórico para a realização de ensaios reológicos para a elaboração da metodologia da dissertação e a reprodução de uma Quadro completa de caracterização reológica de concretos destinados a estruturas de parques geradores de energia ou outras obras de infraestrutura e validando esses ensaios e concretos visando a durabilidade.

**Fonte:** Os Autores.

A partir da análise da Quadro 1, foram definidas questões norteadoras da pesquisa. A partir disso, algumas simulações e buscas prévias foram realizadas para determinar o termo de busca ou *string*, que utilizando alguns sinônimos, ao final foi definido como: *Rheolog\* OR rheometry) AND ("cement paste" OR concrete) AND ("supplementary cementitious materials" OR silica OR metacaulim OR "fly ash") and (durability OR "mechanical properties")*.

Para a pesquisa com esses termos, foram utilizadas as bases de buscas eletrônicas: *Science Direct, Scopus, Engineering Village e Web of Science*.

Por fim, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão dos artigos selecionados, apresentados no Quadro 2.

Na condução da RSL, foi efetuada a busca por meio da *string* em cada uma das bases de busca eletrônicas, sendo que a quantidade de publicações obtidas está descrita no Quadro 3.

Com o auxílio da ferramenta Start, software utilizado para a seleção e compilação dos artigos exportados das bases de busca, foi realizada uma seleção minuciosa das publicações a partir dos critérios de seleção, incluindo a sequência de exclusão por título, resumo e leitura completa.

**Quadro 2:** Critérios de inclusão e exclusão de artigos.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO
Termos de busca contidos no título, palavras-chave ou resumo	Não abordar Reologia, adições minerais ou propriedades mecânicas
Descrição dos ensaios reológicos e de resistência mecânica	Reologia em materiais diferentes de pasta de cimento/argamassas ou concreto
Disponível para acesso	Indisponível para acesso

**Fonte:** Os Autores.

**Quadro 3:** Quantidade de publicações obtidas em cada base de pesquisa.

BASE DE DADOS	QUANTIDADE DE PUBLICAÇÕES
<i>Web Of Science</i>	176
<i>Engineering Village</i>	56
<i>Science Direct</i>	44
<i>Scopus</i>	17
<b>TOTAL</b>	<b>293</b>

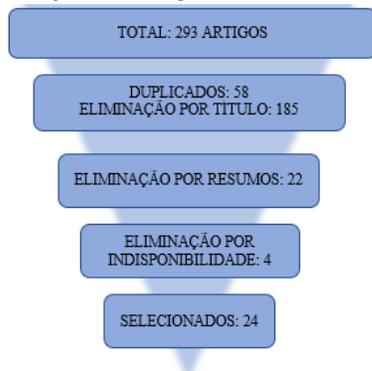
**Fonte:** Os Autores.

A partir das análises dos títulos, 185 artigos foram rejeitados, 58 estavam duplicados e 54 foram aceitos. Após isso, com a avaliação dos resumos obteve-se 22 artigos descartados e 28 aceitos. Por fim, verificou-se que 4 artigos estavam indisponíveis, totalizando assim em 24 artigos

selecionados, conforme demonstrado na Figura 1. Dessa forma, partiu-se para a etapa de análise das publicações selecionadas.

Por fim, na etapa de documentação, foram postas análises bibliométricas e análises críticas relativas ao conteúdo dos artigos, com o auxílio de uma planilha, que continha dados como: título e autores, ano de publicação, palavras-chave, fonte de publicação, país onde foi realizada a pesquisa, fator de impacto (JCR), objetivos da pesquisa, adições utilizadas, ensaios de caracterização dos materiais, ensaios realizados no estado fresco e endurecido, propriedades, normas utilizadas e principais conclusões.

Figura 1 - Seleção dos artigos.



Fonte: Os Autores.

### 3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

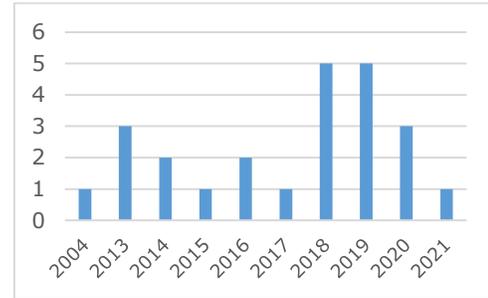
A apresentação dos principais resultados está dividida em dois tópicos: análise bibliométrica (visão ampla e técnica dos artigos) e uma análise crítica (análise mais detalhada dos artigos).

#### 3.1 RESULTADOS DA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A primeira análise realizada a partir da seleção dos artigos foi a quantidade de artigos por ano de publicação (Figura 2). Observa-se um intervalo de 2005 até 2012 sem publicações relevantes selecionadas, o que pode indicar que o estudo focado em reologia voltou a ser mais abordado mais recentemente nos últimos anos. Além disso, os anos com maior número de publicações foram 2018 e 2019, com um leve decréscimo até o ano atual (2021). Isso indica que há uma resposta a demandas de estudos nesta área, uma vez dada a importância do controle tecnológico do concreto na

sua durabilidade, desempenho e comportamento mecânico.

Figura 2 - Número de publicações por ano.



Fonte: Os Autores.

Outra análise realizada foi a concentração dos estudos por país de publicação, demonstrado na Figura 3, por meio de uma ferramenta de análise bibliométrica, o *software VOSviewer*.

Figura 3 - Mapa de concentração de publicações por países.



Fonte: Os Autores.

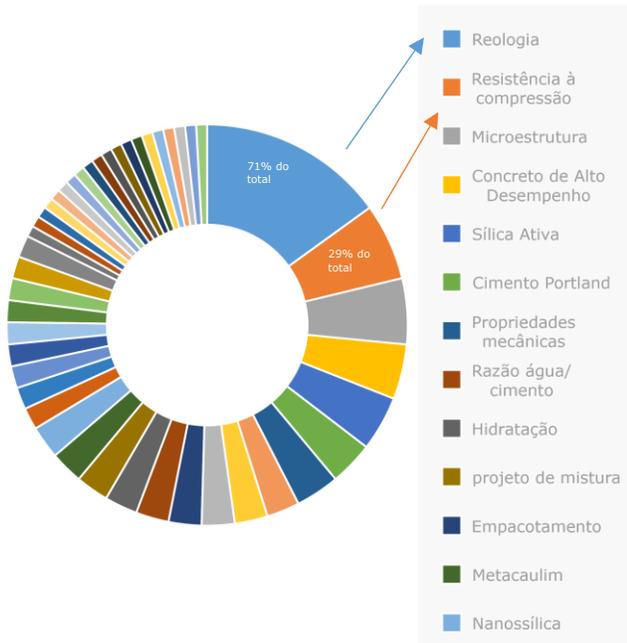
O cenário mapa da figura apresenta que existe uma maior concentração de periódicos com ênfase no tema estudado na China, França, Coreia do Sul, Irã, Estados Unidos, Paquistão e Hong Kong. E, apesar do Brasil estar presente no mapa, sua colaboração é ainda tímida com apenas um artigo [15] de acordo com os critérios adotados na metodologia do presente artigo. Isso expressa a necessidade de estudos neste campo de pesquisas.

Outra análise realizada foi relacionada ao fator de impacto, dado pelo *Journal Citation Report (JCR)*, ilustrado na Quadro 4.

É possível observar pela Quadro 4 que a maioria dos artigos selecionados (66%) se encontram em periódicos com uma boa avaliação. 75% deles



**Figura 5** - Gráfico de explosão solar com a distribuição das palavras-chave.



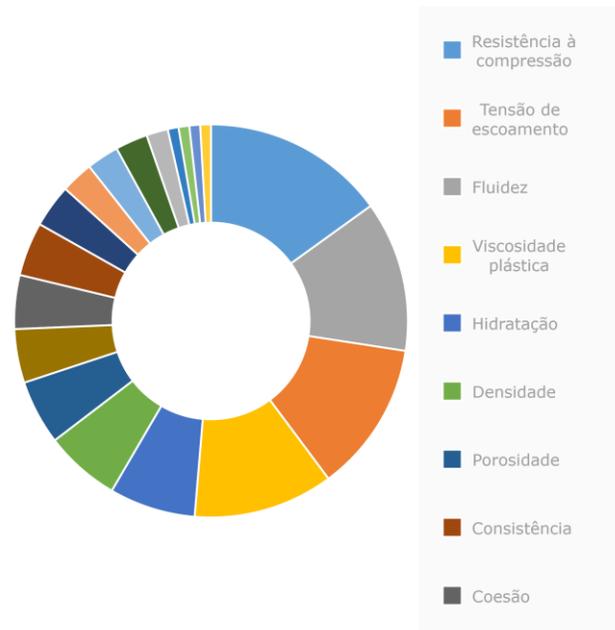
Fonte: Os Autores.

Já pela Figura 5, que foi elaborado a partir da quantidade de vezes em que as palavras-chave apareciam nos artigos, é possível observar as expressões entre as palavras-chave que foram mais frequentes. Entre elas, a palavra "reologia", foi utilizada em 17 artigos (em azul - 71% do total) e a palavra "resistência à compressão" citada em 7 artigos (em laranja - 29%). A partir disso, entende-se que as palavras-chave escolhidas para o trabalho e utilizadas para a criação da *string* na etapa de planejamento foram adequadas e condizem com a linha de pesquisa deste trabalho. Estudo de hidratação, projeto de mistura e empacotamento também foram obtidos. Essa sistematização deixou de ser algo instintivo para ser um resultado científico com um protocolo de busca realizado.

A Figura 6 representa as propriedades e características das pastas e concretos mais estudados nos artigos. As propriedades e características mais citadas no estado fresco foram: tensão de escoamento e fluidez, mencionadas em 14 artigos (em laranja e cinza - não necessariamente de forma simultânea, totalizando em 58% dos artigos) e viscosidade plástica citada em 13 trabalhos (em amarelo - 54%). Propriedades de hidratação e porosidade foram mencionadas.

Já no estado endurecido, a resistência à compressão foi a propriedade mais estudada como propriedade resposta, presente em 17 dos 24 artigos (em azul - 71%), demonstrando que em estudos de reologia, o foco se dá para os ensaios realizados no estado fresco, sendo que o ensaio de resistência à compressão fornece um parâmetro interessante de se estudar em conjunto para comparações de qualidade do concreto. A legenda foi reduzida em função das propriedades de maior porcentagem.

**Figura 6** -Gráfico de explosão solar com as propriedades e características estudadas nas publicações.



Fonte: Os Autores.

Para a investigação dos ensaios que foram realizados nos estudos, foram elaborados gráficos apresentados nas Figuras 7 e 8, obtidos pelo *software POWER BI*, sendo que para a sua construção, foi contabilizado a quantidade de ensaios em cada uma das 24 publicações analisadas.

Os ensaios com reômetros e viscosímetros são os mais realizados no concreto em seu estado fresco (Figura 8) (em azul claro - 14 artigos - 58%), seguidos dos ensaios de abatimento de tronco de cone (em azul escuro - 8 artigos - 33%), uma vez que os ensaios reológicos necessitam de maior confiabilidade, obtida por meio de equipamentos mais precisos.

## Estudo das Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Concretos com Adições Minerais: Contribuição por Meio de Meta-Análise, Mapeamento e Revisão Sistemática de Literatura para Delineamento de Futuras Pesquisas no Tema

Na Figura 9, observa-se que porosidade, a penetração de cloretos e a caracterização da microestrutura por MEV e DRX foram mencionados. Estes ensaios tem relação com a durabilidade do concreto, uma vez que conseguem determinar as suas propriedades e características em seu estado endurecido e relacioná-los com parâmetros de qualidade, porém não estão relacionados com o estudo principal observado: reologia de pastas e concretos, portanto, são concebidos como ensaios menos irrelevantes dentro desse tema.

**Figura 7** - Gráfico de explosão solar dos ensaios realizados no concreto no estado fresco.



Fonte: Os Autores.

**Figura 8** - Gráfico de explosão solar dos ensaios realizados no concreto no estado endurecido.



Fonte: Os Autores.

A literatura [7,30, 31, 32, 11, 33,34, 16, 31, 35, 19, 35-39 [3, 5, 6, 7, 12, 18, 21, 25, 26, 29, 33, 40-45] aborda que as pesquisas realizadas em reômetros ou viscosímetros, determinam

propriedades como tensão de escoamento, viscosidade plástica ou tixotropia. Como resultado exploratório, foi possível observar frequências de ensaios mais realizados no estado fresco e endurecido e propriedades de interesse em concretos e pastas. Isto permite alinhar estudos, variáveis etc. de programas experimentais que avancem na fronteira do conhecimento e que tenham diferenciais metodológicos, resultados robustos e com embasamento científico e correlações entre parâmetros.

No que tange ao apontamento das principais adições minerais estudadas e mencionadas, como misturas binárias com o cimento, a Quadro 4 apresenta os teores mais estudados. A cinza volante foi bastante citada [4,7, 11,13, 15-16, 33-44] seguida pela sílica ativa. Algumas pesquisas avançaram na utilização de misturas ternárias ou em teores de adição binária.

Os percentuais de cada adição mineral são variáveis e têm faixa de teores mínimos e máximos, como esperado, de acordo com as quantidades que podem trazer melhorias para as composições de materiais cimentícios, sem que estes sejam prejudicados. De fato, pesquisas com sílica ativa tem utilizado teores em torno de 10%, para concretos de ambientes com cloretos e para fabricação de concreto autoadensáveis, onde a reologia é muito importante [18] [44].

Outros tipos de informações também foram analisados, como as normas ou procedimentos utilizados para a realização dos ensaios, seus objetivos gerais e suas principais conclusões. A literatura [7] mencionou a norma ASTM C 1738 – “Standard Practice for High-Shear Mixing of Hydraulic Cement Pastes” que é um procedimento padrão para a determinação de ensaios reológicos em pastas de cimento [45]. Outro autor [30] cita um procedimento “Specification and Guidelines for SCC” pela EFNARC que determina procedimentos para a realização dos ensaios de abatimento do tronco de cone, funil V e Caixa L.

Pesquisas [30, 15 e 44] utilizaram a EN 12350-8:2010 [46], a qual trata do ensaio de abatimento de tronco de cone, a EN 12350-9:2010 [47] que menciona o ensaio de Funil V e a EN 12350-10:2010 [48] com os procedimentos do ensaio da Caixa L. O autor [40] utilizou a ASTM C230 [49] para determinar o ensaio de espalhamento do tronco de cone.

O estudo [42] referiu-se a ASTM C1611 (espalhamento pelo tronco de cone) [50], ficando evidente a necessidade da normatização e a construção de novas instruções técnicas para que o procedimento seja reproduzível com confiabilidade.

**Quadro 5** – Percentual de adições utilizadas nos estudos.

ADIÇÕES UTILIZADAS	PORCENTAGENS UTILIZADAS NOS ARTIGOS EM MASSA
Cinza Volante	10% - 25%
Escória Granulada De Alto Forno	20% - 30%
Sílica Ativa	2% - 10%
Metacaulim	3% - 35%
Nanossílica	1% - 5%
Fíler Calcário	5% - 30%

Fonte: Os Autores.

### 3 CONCLUSÕES

A partir da Revisão Sistemática de Literatura delimitada, pode-se concluir que:

- estudos de reologia em materiais cimentícios esteve vinculado a estudos de propriedades mecânicas no estado endurecido;
- as principais propriedades reológicas estudadas foram: viscosidade plástica e tensão de escoamento;
- as adições mais utilizadas nestes estudos foram a cinza volante (10-25%) e a sílica ativa (2-10%);
- os ensaios mais citados no estado fresco de concretos foram o abatimento de tronco de cone, funil V e caixa L;
- a resistência à compressão foi uma propriedade muito caracterizada nos estudos reológicos, citados na RSL.

### REFERÊNCIAS

[1] WALLEVIK, J. E. Relationship between the Bingham parameters and slump. In: **Cement and Concrete Research**, n.36, p. 1214 - 1221, 2006

[2] JIAO, D., SHI, C., YUAN, Q., AN, X., LIU, Y., LI, H. Effect of constituents on rheological properties of fresh concrete - A review. **Cement Concrete Composites**. p. 83, 146 e1 59, 2017.

[3] WALLEVIK, O. H, WALLEVIK, J.E. Rheology as a tool in concrete science: The use os rheographs and workability boxes. **Cement and Concrete Research**. v. 41, n. 12, p. 1279-1288, 2011.

[4] NAZAR, S. YANG, J. THOMAS, B. S. AZIM, I. REHMAN, S. K. U. Rheological properties of cementitious composites with and without nano-materials: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 122701, 2020.

[5] CHEN, M. Yield stress and thixotropy control of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites with metakaolin related to structural build-up. **Construction and Building Materials**, v. 252, p. 119090, 2020.

[6] COUTO, P. B. **Caracterização reológica de pastas de cimento portland de alta resistência contendo diferentes tipos de polímeros superabsorventes pela técnica de reometria rotacional**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Tecnologia, UNB, 2016.

[7] BANFILL, P. **Rheology of Fresh Cement and Concrete**. British Society of Rheology, p. 61 e 130, 1991.

[8] KE, G.; ZHANG, J. Effects of retarding admixture, superplasticizer and supplementary cementitious material on the rheology and mechanical properties of high strength calcium sulfoaluminate cement paste. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 18, n. 1, p. 17-26, 2020.

[9] AGOSTINHO, L. B. **Estudo reológico de pastas de cimento portland modificadas com polímero superabsorvente e nano partículas de sílica**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Faculdade de Tecnologia, UNB, Brasília, 2017.

[10] ARORA, A. Microstructural packing and rheology-based binder selection and characterization for Ultra-high Performance Concrete (UHPC). **Cement and Concrete Research**, v. 103, p. 179-190, 2018.

[11] GHAFARI, E.; FEYS, D.; KHAYAT, K. Feasibility of using natural SCMs in concrete for infrastructure applications. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 724-732, 2016.

[12] BARKAT, A. Effects of local metakaolin addition on rheological and mechanical performance of self-compacting limestone cement concrete. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 33, n. 9, p. 963-985, 2019.

- [13] KASHANI, A. NICOLAS, R S. QIAO, G. G. DEVENTER, J. S. J. PROVIS, J. L. Modelling the yield stress of ternary cement–slag–fly ash pastes based on particle size distribution. **Powder Technology**, v. 266, p. 203–209, 2014.
- [14] LAVERGNE, F. et al. Effect of nano-silica particles on the hydration, the rheology and the strength development of a blended cement paste. **Cement and Concrete Composites**, v. 95, p. 42–55, 2019.
- [15] LI, P. RAN, J. NIE, D. ZHANG, W. Improvement of mix design method based on paste rheological threshold theory for self-compacting concrete using different mineral additions in ternary blends of powders. **Construction and Building Materials**, v. 276, 2021.
- [16] LING, G. SHUI, Z. SUN, T. GAO, X. WANG, Y. SUN, Y. WANG, G. LI, Z. Rheological behavior and microstructure characteristics of SCC incorporating metakaolin and silica fume. **Materials**, v. 11, n. 12, 2018.
- [17] MEHDIPOUR, I.; KHAYAT, K. H. Effect of particle-size distribution and specific surface area of different binder systems on packing density and flow characteristics of cement paste. **Cement and Concrete Composites**, v. 78, p. 120–131, 2017.
- [18] MENDES, M. V. A. S. **Estudo dos parâmetros de autoadensabilidade e de reologia de argamassas e de concretos autoadensáveis**. 2016. 259p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- [19] MOHAMMED, A. Characterization and modeling the flow behavior and compression strength of the cement paste modified with silica nano-size at different temperature conditions. **Construction and Building Materials**, v. 257, p. 119590, 2020.
- [20] TATTERSALL, G.H. *Workability and Quality Control of Concrete*. E & FN Spon, London Great Britian, 1991.
- [21] ZAPATA, L. E. Rheological performance and compressive strength of superplasticized cementitious mixtures with micro/nano-SiO<sub>2</sub> additions. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 708–716, 2013.
- [22] GRANT, M. J.; BOOTH, A. **A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies**, *health information and libraries journal*, v 26, p. 91–108, may 2009.
- [23] KHAN, K., RIET, G., GLANVILLE, J., SOWDEN, A., KLEIJNEN, J. **Undertaking Systematic Reviews of Research on Effectiveness: CRD’s Guidance for those Carrying Out or Comissioning Reviews**. **NHS Centre for Reviews and Dissemination**, University of York, 2001.
- [24] LI, X. QIN, D. HU, Y. AHMAD, W.. AHMAD, A. ASLAM, F. JOYKLAD, P. *A systematic review of waste materials in cement-bases composites for construction applications*. **Journal of Building Engineering**. V. 45. 2020.
- [25] OLENA, K.; YELENA, K.; MAKSIM, B. **The impact of the COVID-19 pandemic on the creative industries: A literature review and future research agenda**. **Journal of business research** [0148-2963] Khlystova, Olena Ano: 2021 v.:139 p.:1192 -1210
- [26] PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. **Systematic Mapping Studies in Software Engineering**. 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 2008.
- [27] DRESCH, Aline. LACERDA, Daniel Pacheco. ANTUNES, José Antônio Valle Júnior. **Design Science Research: Método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. 173p.
- [28] TATTERSALL, G.H. *Workability and Quality Control of Concrete*. E & FN Spon, London Great Britian, 1991.
- [29] TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. “Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review”, **British journal of management**, v 14, p. 207–222, sep. 2003
- [30] BENAICHA, M. BELCAID, A. ALAOU, A. H. JALBAUD, O. BURTSCHHELL, Y. Effects of limestone filler and silica fume on rheology and strength of self-compacting concrete. **Structural Concrete**, v. 20, n. 5, p. 1702–1709, 2019.

- [31] CHANG, P.-K. An approach to optimizing mix design for properties of high-performance concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 4, p. 623–629, 2004.
- [32] CHEN, J. J. Use of superfine zeolite in conjunction with silica fume — Effects on rheology and strength of cementitious paste. **Powder Technology**, v. 328, p. 75–83, 2018.
- [33] KASHANI, A. NICOLAS, R. S. QIAO, G. G. DEVENTER, J. S. J. PROVVIS, J. L. Modelling the yield stress of ternary cement–slag–fly ash pastes based on particle size distribution. **Powder Technology**, v. 266, p. 203–209, 2014.
- [34] KIM, Y. J. Investigation of Rheological Properties of Blended Cement Pastes Using Rotational Viscometer and Dynamic Shear Rheometer. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2018, 2018.
- [35] MACIEL, G. DE F.; BARBOSA, M. P.; PEREIRA, J. B. Análise comparativa da tensão limite de escoamento de argamassas por meio da técnica de Pashias e reometria rotacional. **Revista Materia**, v. 21, n. 4, p. 866–879, 2016.
- [36] SADRMOHTAZI, A.; TAJASOSI, S.; TAHMOURESI, B. Effect of materials proportion on rheology and mechanical strength and microstructure of ultra-high performance concrete (UHPC). **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 1103–1112, 2018
- [37] WANG, M.; YAO, H. Effects of polycarboxylate ether grafted silica fume on flowability, rheological behavior and mechanical properties of cement-silica fume paste with low water-binder ratio. **Construction and Building Materials**, v. 272, 2021.
- [38] WU, Z.; KHAYAT, K. H.; SHI, C. Changes in rheology and mechanical properties of ultra-high performance concrete with silica fume content. **Cement and Concrete Research**, v. 123, 2019.
- [39] YUN, K.-K.; CHOI, S.-Y.; YEON, J. H. Effects of admixtures on the rheological properties of high-performance wet-mix shotcrete mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 78, p. 194–202, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/280573253\\_vicari\\_etal\\_2007](https://www.researchgate.net/publication/280573253_vicari_etal_2007).
- [40] ZAPATA, L. E. Rheological performance and compressive strength of superplasticized cementitious mixtures with micro/nano-SiO<sub>2</sub> additions. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 708–716, 2013.
- [41] HOU, P. K. Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash-cement mortar. **Cement and Concrete Composites**, v. 35, n. 1, p. 12–22, 2013.
- [42] JALAL, M.; FATHI, M.; FARZAD, M. Effects of fly ash and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on rheological, mechanical, microstructural and thermal properties of high strength self compacting concrete. **Mechanics of Materials**, v. 61, p. 11–27, 2013.
- [43] JALAL, M.; TEIMORTASHLU, E.; GRASLEY, Z. Performance-based design and optimization of rheological and strength properties of self-compacting cement composite incorporating micro/ nano admixtures. **Composites Part B: Engineering**, v. 163, p. 497–510, 2019.
- [44] TAMBARA JÚNIOR, L. U. D. **Análise comparativa das propriedades reológicas no estado fresco e mecânicas do concreto autoadensável de cimento branco com adição de cinza volante**. 2013, 109p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.
- [44] SFIKAS, I. P.; BADOGIANNIS, E. G.; TREZOS, K. G. Rheology and mechanical characteristics of self-compacting concrete mixtures containing metakaolin. **Construction and Building Materials**, v. 64, p. 121–129, 2014.
- [45] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1738**. Standard Practice for High-Shear Mixing of Hydraulic Cement Paste. 2011.
- [46] EUROPEAN STANDARD. **EN 12350-8**. Testing fresh concrete - Part 8: Self-compacting concrete - Slump-flow test. 2010.
- [47] EUROPEAN STANDARD. **EN 12350-9**. Testing fresh concrete - Part 9: Self-compacting concrete - V-funnel test. 2010.
- [48] EUROPEAN STANDARD. **EN 12350-10**. Testing fresh concrete - Part 10: Self-compacting concrete - L box test. 2010.

**[49]** AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C230**. Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. 2020.

**[50]** AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1611**. Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.2020.