

INCORPORAÇÃO DE MICROSSÍLICA, METACAULIM E ADITIVO IMPERMEABILIZANTE NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND: INFLUÊNCIA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

INCORPORATION OF MICROSILICA, METAKAOLIN AND WATERPROOFING ADDITIVE IN THE PRODUCTION OF PORTLAND CEMENT CONCRETE: INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES

INCORPORACIÓN DE MICROSÍLICE, METACAOLINA Y ADITIVO IMPERMEABILIZANTE EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND: INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Esdras Márcio Araújo Lima¹

Vinícius Amorim Vieira²

Sheldon Cristiano Souza da Silva³

Manoel Martins dos Santos Filho⁴

RESUMO: Em alusão ao contínuo crescimento da construção civil e da necessidade por estruturas duráveis, resistentes e sustentáveis, este estudo investiga a influência das adições minerais microssílica e metacaulim, e aditivo impermeabilizante nas propriedades mecânicas de concretos de cimento Portland. A pesquisa avaliou a resistência mecânica de compressão e a resistência à tração por compressão diametral. A análise comparou dois concretos: um convencional, sem aditivos ou adições, e outro contendo aditivo impermeabilizante e substituição parcial do cimento. Nesta substituição, 10% do cimento foi substituído, sendo 5% por microssílica e 5% por metacaulim. A incorporação desses materiais visa aprimorar a resistência e a impermeabilidade do concreto, ao passo que também busca reduzir impactos ambientais devido a redução de emissões de dióxido de carbono, por meio da mencionada substituição do cimento. Além disso, o estudo visa orientar a produção de concretos, que estejam em sintonia com o desempenho estrutural necessário e a preservação ambiental. Assim, este trabalho contribui para a continuidade dos avanços no setor da construção civil.

3763

Palavras-chave: Concreto. Adições. Aditivo. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT: In reference to the continuous growth of the civil construction industry and the need for resistant, resistant and sustainable structures, this study investigates the influence of the mineral additions microsilica and metakaolin, and waterproofing additives on the mechanical properties of Portland cement concretes. The research evaluated the mechanical strength and tensile strength by diametric correction. The analysis compared two concretes: a conventional one, without additives or additions, and another containing waterproofing additive and partial replacements of the cement. In this replacement, 10% of the cement was replaced, 5% by microsilica and 5% by metakaolin. The incorporation of these materials aims to improve the strength and waterproofing of the concrete, while also seeking to reduce environmental impacts due to the reduction of carbon dioxide emissions, through the mention of cement replacement. In addition, the study aims to guide the production of concretes, which are in tune with the necessary structural performance and environmental preservation. Thus, this work contributes to the continuity of advances in the civil construction sector.

Keywords: Concrete. Additions. Additive. Mechanical properties.

¹Acadêmico em engenharia civil pelo Instituto Federal de Alagoas.

²Acadêmico em engenharia civil pelo Instituto Federal de Alagoas.

³Acadêmico em engenharia civil pelo Instituto Federal de Alagoas.

⁴Doutorado em Química e Biotecnologia pela Universidade Federal de Alagoas.

RESUMEN: En referencia al continuo crecimiento de la industria de la construcción civil y la necesidad de estructuras resistentes y sostenibles, este estudio investiga la influencia de las adiciones minerales microsílice y metacaolín, así como de los aditivos impermeabilizantes, en las propiedades mecánicas de los hormigones de cemento Portland. La investigación evaluó la resistencia mecánica y la resistencia a la tracción mediante corrección diametral. El análisis comparó dos hormigones: uno convencional, sin aditivos ni adiciones, y otro con aditivo impermeabilizante y reemplazos parciales del cemento. En este reemplazo, se sustituyó el 10% del cemento, el 5% por microsílice y el 5% por metacaolín. La incorporación de estos materiales busca mejorar la resistencia y la impermeabilización del hormigón, a la vez que busca reducir el impacto ambiental debido a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, mediante la sustitución del cemento. Además, el estudio busca orientar la producción de hormigones que cumplan con el rendimiento estructural necesario y la preservación del medio ambiente. De esta forma, este trabajo contribuye a la continuidad de los avances en el sector de la construcción civil.

Palabras clave: Hormigón. Adiciones. Aditivo. Propiedades mecánica.

INTRODUÇÃO

O cenário global da construção civil projeta um crescimento significativo, estimado em 35% nas taxas globais de construção até 2030 pela "Oxford Economics". Neste contexto, a viabilidade de edificações está condicionada a aspectos como resistência, segurança e redução de impactos ambientais. O concreto destaca-se como material prevalente na construção civil brasileira, demandando aprimoramentos em suas características de resistência e sustentabilidade para atender às exigências atuais do setor.

3764

Considerando este panorama, a presente investigação centra-se na incorporação de microssílica, metacaulim e aditivo impermeabilizante em pó em concretos de cimento Portland. A ênfase é dada à avaliação da resistência à compressão e tração por compressão diametral, e substituição do cimento portland por adições minerais. Ademais, trabalhos sobre traços de concreto (Barbosa; Bastos) e métodos de dosagem (Curti) possuem grande relevância no contexto da pesquisa.

Estudos preexistentes indicam que a adição desses materiais pode potencializar a resistência à compressão (Freitas; Meira, 2023). Detalhando a natureza dos materiais, o metacaulim é descrito como um material de caráter pozolânico, composto majoritariamente por sílica e alumina (Rabello, 2003), enquanto a microssílica é essencialmente constituída por sílica (Kihara, 1986). A incorporação destes materiais induz alterações na estrutura de poros do concreto, resultando em redução da porosidade e consequente aumento da resistência mecânica (Santos; Albuquerque; Ribeiro, 2020).

Adicionalmente, esta abordagem de substituição parcial do cimento Portland contribui para a mitigação de impactos ambientais. Tal fato ocorre pela redução nas emissões de dióxido de carbono, promovendo o processo de carbonatação (Battagin, 2021). A sustentabilidade do concreto com adições minerais vincula-se diretamente à diminuição na emissão de gases de efeito estufa e à menor necessidade de extração de matéria-prima, sem comprometer as propriedades estruturais.

Por outra instância, a porosidade da matriz cimentícia endurecida influencia decisivamente seu desempenho, conforme destacado por Taylor (1997). Nesse sentido, o objetivo central deste estudo visa a substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos como uma alternativa para aperfeiçoar o desempenho mecânico e minimizar impactos ambientais.

MÉTODOS

O estudo tem como objetivo avaliar o comportamento do concreto incorporando microssílica, metacaulim e aditivo impermeabilizante, com ênfase nas propriedades de resistência à compressão e tração por compressão diametral. A metodologia desenvolvida para este fim iniciou-se com um levantamento bibliográfico abrangente sobre estudos existentes a respeito da adição isolada desses materiais ao concreto e suas propriedades.

3765

Subsequentemente, a pesquisa avançou para a fase experimental. Nesta etapa, é testado concreto com a incorporação de 10% das adições mencionadas, com o intuito de avaliar seu desempenho mecânico. Os ensaios são realizados nas instalações do Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Alagoas – IFAL, que dispõe da infraestrutura necessária.

Os materiais constituintes das composições incluem cimento CP II-F, selecionado uniformemente para todos os traços, microssílica, metacaulim e aditivo impermeabilizante. Adicionalmente, utiliza-se água potável proveniente da concessionária local de Maceió-AL, areia grossa com granulometria entre 2 a 4mm e brita 1 com granulometria de 9,5mm a 19mm. Os agregados e o cimento foram adquiridos no IFAL, enquanto o aditivo impermeabilizante foi fornecido pela SUPERMIX da marca PENETRON com nome do produto PENETRON ADMIX COM RASTREADOR, um aditivo para impermeabilização por cristalização integral.

Para facilitar a identificação das produções ao longo do estudo adotou-se as nomenclaturas IMM 0 (Concreto de referência sem adições e aditivos) e IMM 1 (concreto com 5% metacaulim, 5% microssílica e aditivo impermeabilizante); A sigla

IMM(Impermeabilizante, Metacaulim e Microssílica). Dentre os equipamentos utilizado destacam-se: a prensa hidráulica ajustada respectivamente para compressão axial e para tração por compressão diametral(Figura 1), por fim a betoneira na Figura 2.

Figura 1 - Prensa hidráulica ajustada para compressão axial e tração por compressão diametral, respectivamente.



Fonte: LIMA EM, et al.,2025

3766

Figura 2 - Betoneira.



Fonte: LIMA EM, et al.,2025

A produção do concreto segue as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 12655/2022. Os ensaios para caracterização do concreto são conduzidos conforme as normas brasileiras pertinentes, abrangendo o ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR 16889/2020), a determinação da resistência à compressão (NBR 5739/2018) e a resistência de tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (NBR 7222/2011). As proporções de incorporação dos materiais são avaliadas inicialmente no percentual de 10%. A avaliação das

propriedades mecânicas é efetuada utilizando corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10x20 cm.

A metodologia descrita ao integrar ensaios laboratoriais proporciona uma compreensão técnica aprofundada do desempenho do concreto modificado. Com término dos ensaios, prevê-se o desenvolvimento comparativo em tabelas e gráficos, visando contribuir para a avaliação do potencial do concreto com adições de microssílica, metacaúlim e aditivo impermeabilizante em relação à sua resistência mecânica.

RESULTADOS

Inicialmente, a metodologia proposta por Barbosa e Bastos (2012) não se mostrou eficaz para o desenvolvimento do concreto na presente pesquisa. Esta abordagem não foi capaz de atingir a resistência à compressão projetada ($f_{ck} \geq 25$ MPa). A falha pode ser atribuída a não consideração de condições de produção (o método ABCP possui condições A, B e C), que resultaram em um desempenho aquém das expectativas. Outro parâmetro crítico considerado foi a relação água/cimento, que teve influência direta na trabalhabilidade do material. Observou-se que quanto menor a relação água/cimento, maior foi a resistência do concreto, porém isso resultou em uma redução na trabalhabilidade, tornando a mistura menos plástica. Esse resultado alinha-se à literatura de Curti (2023) que destaca a necessidade de equilibrar abatimento requerido e resistência sem adicionar aditivo plastificante.

Paralelamente, o método ABCP (Curti, 2020) demonstrou ser mais adequado para alcançar a resistência mínima requerida de 25 MPa. Esse sucesso é atribuído à sua capacidade de considerar uma relação mais eficiente entre os componentes do concreto e as adições minerais, favorecendo a obtenção da resistência proposta e indicando sua relevância para o controle de qualidade. O método ABCP também demonstrou maior controle na incorporação das adições minerais, o que impactou positivamente as propriedades mecânicas, especialmente a resistência à compressão. Os resultados apresentam-se na tabela 1, indicando a produção do IMM 0 e IMM 1. A coluna com “%” indica o quanto evoluiu a resistência do concreto em porcentagem, tendo em vista o intervalo da idade escolhida com a posterior.

Tabela 1 - Resultados da produção IMM 0 e IMM 1.

IMM 0					IMM 1				
Concreto: referência(Sem adições e aditivos)					Concreto: 5% metacaulim 5% microssilica e aditivo impermeabilizante				
Idade	Compressão axial Valor médio (Mpa)	%	Tração por Compressão diametral Valor médio (Mpa)	%	Idade	Compressão axial Valor médio (Mpa)	%	Tração por Compressão diametral Valor médio (Mpa)	%
7 dias	26,68	0,00	2,71	0,0	7 dias	29,50	0,00	2,02	0,0
14 dias	29,06	+8,92	2,94	+8,57	14 dias	32,41	+9,86	2,30	+13,97
28 dias	32,95	+13,39	3,20	+8,78	28 dias	36,47	+12,52	2,38	+3,56

Fonte: LIMA EM, et al.,2025

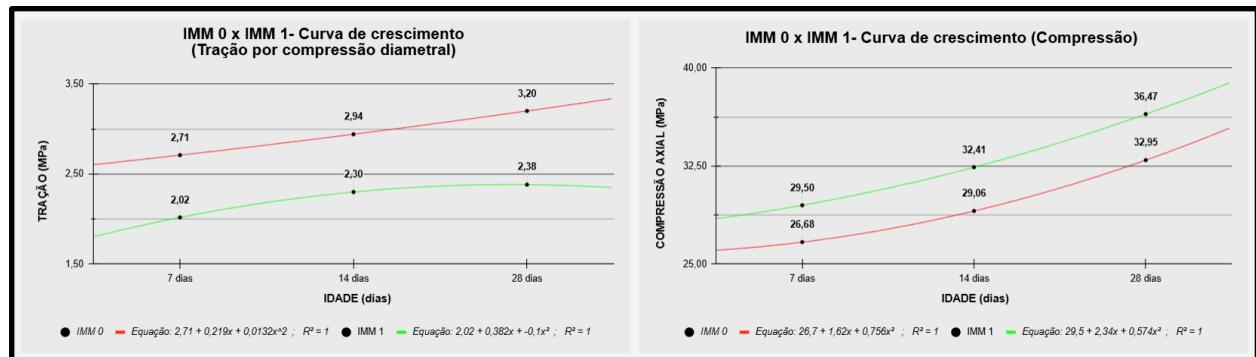
Ao observar a tabela 1, nota-se que a idade que apresentou maior crescimento de compressão axial em ambas produções foi no intervalo de 14 a 28 dias (13,39% e 12,52%, respectivamente). Quanto ao desempenho mecânico, o concreto de referência (sem adições e aditivos) apresentou os seguintes resultados médios de resistência à compressão axial: 26,68 MPa aos 7 dias, 29,06 MPa aos 14 dias e 32,95 MPa aos 28 dias. Estes valores correspondem e superam a resistência esperada em projeto (≥ 25 MPa). Nos ensaios de tração por compressão diametral, os valores médios foram de 2,71 MPa aos 7 dias, 2,94 MPa aos 14 dias e 3,20 MPa aos 28 dias. Ambos os resultados de resistência (compressão e tração) para o concreto de referência estão dentro da faixa padrão prevista em projeto para concretos convencionais, indicando bom desempenho ao longo do tempo

Por outro lado, o concreto com 5% de metacaulim, 5% de microssilica e aditivo impermeabilizante obteve os seguintes resultados médios de resistência à compressão axial: 29,50 MPa aos 7 dias, 32,41 MPa aos 14 dias e 36,47 MPa aos 28 dias. Estes valores superaram os do concreto de referência, demonstrando um ganho considerável de resistência com o tempo. No entanto, nos ensaios de tração por compressão diametral, o concreto modificado apresentou valores de 2,02 MPa aos 7 dias, 2,30 MPa aos 14 dias e 2,38 MPa aos 28 dias. Estes resultados evidenciam uma redução considerável nas propriedades de tração em comparação com o concreto de referência.

Embora a incorporação de adições minerais e aditivos possa ter influenciado nessa redução, este resultado específico para o IMM 1 pode ser justificado devido às segregações acentuadas do concreto nos corpos de prova utilizados no ensaio de tração. Esperar-se-ia, caso contrário, um valor maior ou igual para este caso. No entanto, no gráfico 1 curva de crescimento, repare-se na linha de tendência da equação de grau 2 (dois) das duas

produções (IMM 0 e 1), evidenciando com outra representação um maior valor para compressão axial para o IMM 1, e em contrapartida um maior valor para tração por compressão axial para o IMM 0.

Gráfico 1 - Curva de crescimento IMM 0 x IMM 1.



Fonte: LIMA EM, et al., 2025

Em suma, a incorporação de microssílica, metacaulim e aditivo impermeabilizante em concretos de cimento Portland tende a influenciar no aumento da resistência à compressão, conforme corroborado por Freitas e Meira (2023), e as adições minerais com diferentes porosidades na mistura endurecida do concreto influenciam no seu desempenho mecânico (Taylor, 1997).

3769

CONCLUSÃO

Por fim, o presente estudo investigou a influência da incorporação de metacaulim, microssílica e aditivo impermeabilizante nas propriedades mecânicas do concreto de cimento Portland. Os resultados indicam que a adição desses materiais, especialmente quando utilizando metodologias de dosagem otimizadas como o método ABCP (Curti, 2020), demonstra potencial para otimizar o desempenho mecânico e o cumprimento dos requisitos de projeto.

Comparativamente, a metodologia proposta por Barbosa e Bastos (2012) não se mostrou eficaz para atingir a resistência à compressão projetada ($f_{ck} \geq 25$ MPa) na presente pesquisa, devido a não consideração de condições de produção que são consideradas no método ABCP. Por outro lado, o método ABCP (Curti, 2020) revelou-se mais adequado para alcançar a

resistência mínima requerida, atribuído à sua capacidade de considerar uma relação mais eficiente entre os materiais para favorecer a obtenção da resistência.

No que tange às propriedades mecânicas, o concreto IMM 1 (com 5% de metacaulim, 5% de microssílica e aditivo impermeabilizante), obteve valores médios de resistência à compressão axial superiores aos do concreto de referência (IMM 0) em todas as idades, alcançando 36,47 MPa aos 28 dias contra 32,95 MPa do IMM 0. No entanto, nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, o concreto IMM 1 apresentou valores médios menores (2,38 MPa aos 28 dias) que o concreto IMM 0 (3,20 MPa aos 28 dias). Este resultado particular para o IMM 1 pode ser justificado devido às segregações acentuadas observadas nos corpos de prova.

Em síntese, a incorporação de adições minerais em substituição parcial do cimento portland e aditivo impermeabilizante contribui consideravelmente para o incremento na resistência à compressão axial e redução dos impactos ambientais com aumento da resistência do concreto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento** - Rio de Janeiro ABNT 2022. 3770
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Ensaio de Compressão de Corpos de prova Cilíndricos** - Rio de Janeiro ABNT 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16889: **Concreto - Determinação da Consistência do Abatimento do Tronco do Cone** - Rio de Janeiro ABNT 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e Concreto - Determinação da resistência de tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011.
- BARBOSA, M. R.; BASTOS, P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte.** UNESP. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/Artigo%20Traco%20Concreto-Paulo%20Basos.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2025.
- BATTAGIN, Arnaldo. **Por que usar cimento pozolânico na composição do concreto?** Revista AECweb. Disponível em:<<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/por-que-usar-cimento-pozolanico-na-comosicao-do-concreto/20946>>. Acesso em: 18 mai. 2025.

CURTI, Rubens. **Dosagem do Concreto pelo Método ABCP.** São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP, 2020. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2020/07/Metodo_Dosagem_Concreto_ABCPonLINE_22.07.2020.pdf. Acesso em: 18 mar. 2025.

FREITAS, S. F. ; MEIRA, G. R. **Influência do metacaulim no fator de idade e na alcalinidade do concreto armado.** Revista concreto e construções - 64º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, 2023.

KIHARA, Yushiro. **Microssílica: uma nova pozolana artificial.** São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, Instituto de Geociências - USP, 1986. (Trabalho nº346).

RABELLO, Marco. **Estudo da influência do metacaulim hp como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland.** 2003.

SANTOS, B. S.; ALBUQUERQUE, D. D. M.; RIBEIRO, D. V. **Efeito da adição do metacaulim na carbonatação de concretos de cimento Portland.** v. 13, n. 1, p. 10-18, 2020.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry.** 2. ed. New York: Thomas Telford, 1997.