REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

VIABILIDADE DO USO DO MASSARÁ COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO EM TERESINA –PI, BRASIL

VIABILITY OF USING MASSARÁ AS A SUSTAINABLE ALTERNATIVE IN CONCRETE PRODUCTION IN TERESINA – PI, BRAZIL.

VIABILIDAD DEL USO DEL MASSARÁ COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE EN LA FABRICACIÓN DE CONCRETO EN TERESINA – PI, BRASIL

Francisco Arlon de Oliveira Chaves
Mestre, IFPI, Brasil
E-mail: arlonoliv@hotmail.com

Francisca das Chagas Oliveira
Doutoranda, UFCG, Brasil
E-mail: engenheira.franoliv@gmail.com

Andreson de França Almeida
Técnico administrador, IFPI, Brasil
E-mail: andresonalmeida@ifpi.edu.br

Evandro de Carvalho Ribeiro
Mestre, UnB, Brasil
E-mail: eng.prof.evandro@gmail.com

Roberval Soares das Neves
Mestre, IFPI, Brasil
E-mail: robervals.quimica@gmail.com

Eugenia Maria dos Santos Cordeiro
Especialista, UESPI, Brasil
E-mail: emscordeiro81@gmail.com

Gilvan Moreira da Paz
Doutor, IFPI, Brasil
E-mail: gilvan@ifpi.edu.br

Resumo

Este estudo avalia a viabilidade técnica e ambiental do uso de massará lavado em substituição à areia convencional na produção de concreto. A caracterização mineralógica por DRX e FRX revelou que ambos os materiais são predominantemente silicosos, com o quartzo como fase principal. A areia apresentou 91,36% de SiO_2, enquanto o massará, apesar do menor teor de sílica (73,71%), exibiu mineralogia mais complexa, com presença de caulinita (16,62% de Al_2O_3) e feldspatos, evidenciada também pelos teores de K_2O e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

perda ao fogo. Do ponto de vista físico, observou-se diferença granulométrica significativa: o massará apresentou módulo de finura 2,61, caracterizando-se como areia média com tendência a material mais grosso, próximo a uma areia grossa, enquanto a areia convencional apresentou MF 1,93, sendo classificada como areia fina. Essa granulometria mais elevada do massará favorece melhor empacotamento dos grãos e menor índice de vazios, ao passo que a areia fina aumenta a área específica e a demanda de água. Os ensaios mecânicos demonstraram a superioridade do massará, que atingiu 43,48 MPa aos 91 dias, superando a referência em 32%. A análise estatística (ANOVA e Tukey) confirmou que o massará atinge, aos 7 dias, resistência equivalente à areia aos 28 dias ($p < 0,001$). Conclui-se que o melhor empacotamento granulométrico do massará, aliado à sua composição mineralógica, potencializa a resistência e durabilidade do concreto, configurando-se como alternativa sustentável à extração de areia em leitos de rios.
Palavras-chave: Cimento Pontland; Massará e Concreto.

Abstract

This study evaluates the technical and environmental feasibility of using washed massará as a replacement for conventional sand in concrete production. Mineralogical characterization by X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) revealed that both materials are predominantly siliceous, with quartz as the main phase. The conventional sand presented 91.36% SiO_2, whereas massará, despite its lower silica content (73.71%), exhibited a more complex mineralogy, including the presence of kaolinite (16.62% Al_2O_3) and feldspars, also supported by K_2O contents and loss on ignition. From a physical standpoint, a significant granulometric difference was observed: massará showed a fineness modulus (FM) of 2.61, being classified as a medium sand with a tendency toward coarser material, approaching the behavior of coarse sand, while the conventional sand presented an FM of 1.93, being classified as fine sand. This higher granulometry of massará favors better particle packing and lower void content, whereas fine sand increases specific surface area and water demand. Mechanical tests demonstrated the superior performance of massará, which reached 43.48 MPa at 91 days, exceeding the reference concrete by 32%. Statistical analysis (ANOVA and Tukey) confirmed that massará achieves, at 7 days, a compressive strength equivalent to that of conventional sand at 28 days ($p < 0.001$). It is concluded that the improved granulometric packing of massará, combined with its mineralogical composition, enhances the strength and durability of concrete, representing a sustainable alternative to sand extraction from riverbeds.
Keywords: Portland cement; Massará and Concrete.

Resumen

Este estudio evalúa la viabilidad técnica y ambiental del uso de massará lavado como sustituto de la arena convencional en la producción de concreto. La caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X (DRX) y fluorescencia de rayos X (FRX) reveló que ambos materiales son predominantemente silíceos, con el cuarzo como fase principal. La arena presentó 91,36% de SiO_2, mientras que el massará, a pesar de su menor contenido de sílice (73,71%), mostró una mineralogía más compleja, con presencia de caolinita (16,62% de Al_2O_3) y feldespatos, evidenciada también por los contenidos de K_2O y la pérdida por ignición. Desde el punto de vista físico, se observó una diferencia granulométrica significativa: el massará presentó un módulo de finura (MF) de 2,61, clasificándose como una arena media con tendencia a material más grueso, cercana al comportamiento de una arena gruesa, mientras que la arena convencional presentó un MF de 1,93, siendo clasificada como arena fina. Esta mayor granulometría del massará

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

favorece un mejor empaquetamiento de las partículas y un menor contenido de vacíos, mientras que la arena fina incrementa el área específica y la demanda de agua. Los ensayos mecánicos demostraron la superioridad del massará, que alcanzó 43,48 MPa a los 91 días, superando el concreto de referencia en un 32%. El análisis estadístico (ANOVA y Tukey) confirmó que el massará alcanza, a los 7 días, una resistencia equivalente a la obtenida por la arena convencional a los 28 días ($p < 0,001$). Se concluye que el mejor empaquetamiento granulométrico del massará, junto con su composición mineralógica, potencia la resistencia y durabilidad del concreto, configurándose como una alternativa sostenible a la extracción de arena en lechos de ríos.

Palabras clave: Cemento Pontland; Massará y Hormigón.

1. Introdução

O cimento Portland é o aglomerante hidráulico predominante na construção civil global, consolidando-se como a base fundamental para a infraestrutura moderna (ASTM C150, 2024). Caracterizado como um pó fino constituído essencialmente por silicatos e aluminatos de cálcio, o material inicia um complexo processo de hidratação por dissolução-precipitação ao entrar em contacto com a água (Scrivener et al., 2023). Esta reação química transforma a mistura numa pasta moldável que evolui para uma estrutura de elevada resistência mecânica, frequentemente descrita como uma "rocha artificial" devido à formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) (Wang et al., 2024).

A natureza hidráulica do cimento permite que este desenvolva e mantenha propriedades estruturais mesmo quando submerso, sendo o período inicial de sete dias crucial para a densificação da microestrutura e redução da porosidade (PCA, 2022). Atualmente, a ciência dos materiais foca-se na otimização destas propriedades através de nanotecnologia e adições minerais para melhorar o desempenho e a sustentabilidade ambiental (Dahlan, 2026; Li et al., 2025). Quando combinado com agregados de diferentes naturezas e aditivos químicos, o cimento origina pastas, argamassas e concretos, cujos padrões de dosagem e desempenho seguem diretrizes globais rigorosas stabelecidas por normas (ASTM C150 / C595, NBR 5732 e EN 197-1) que garantem a segurança estrutural e a durabilidade.

O concreto, segundo material mais consumido no mundo, é composto por cimento, agregados e água, podendo incluir aditivos para modificar propriedades como trabalhabilidade, tempo de pega e durabilidade, além de reduzir custos. Como a areia representa cerca de 30% do seu volume, a busca por alternativas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

sustentáveis para este agregado tornou-se indispensável; nesse contexto, a substituição por materiais alternativos e o reaproveitamento de resíduos não apenas mitigam os impactos ambientais da extração mineral, como também aumentam a lucratividade das empresas ao evitar desperdícios e oferecer insumos de menor custo (SILVA & SANTOS, 2023).

O desenvolvimento de novos métodos de composição do concreto é fundamental para as usinas de produção e para os profissionais da engenharia civil, visando otimizar a eficiência e reduzir custos. Nesse contexto, o massará surge como uma alternativa viável ao agregado miúdo, destacando-se por seu custo significativamente mais baixo em comparação com a areia grossa tradicionalmente extraída dos rios Poti e Parnaíba, sem comprometer a qualidade do concreto (CHAVES *et al*., 2025; OLIVEIRA *et al.,* 2020).

Este trabalho propõe retomar a viabilidade do uso em larga escala do massará, considerando que a areia utilizada na produção de concreto em Teresina (PI) provém majoritariamente dos rios Poti e Parnaíba. A extração predatória nesses leitos causa sérios danos ambientais, como o desmatamento da vegetação ribeirinha e a formação de cavidades profundas no leito dos rios. Além disso, a oferta de areia torna-se escassa em períodos de cheia, quando o volume das águas dificulta a retirada do material. Em contrapartida, o massará que é um resíduo obtido através da lavagem do seixo apresenta um custo significativamente inferior. Assim, esta investigação busca esclarecer a origem desse material e validar sua contribuição técnica para a construção civil na região.

2. Revisão da Literatura

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, sendo composto essencialmente por cimento, água e agregados que podem ser classificados em miúdos e graúdos. Os agregados miúdos, como a areia, desempenham um papel fundamental na trabalhabilidade e resistência do concreto, enquanto os agregados graúdos, como a brita e o cascalho, conferem estrutura e durabilidade à mistura. No entanto, a escassez de areia natural tem levado à busca por alternativas viáveis, como o sedimento massará, um material de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

origem fluvial encontrado na região de Teresina-PI. Após passar por um processo de lavagem para remoção dos finos e impurezas, o massará apresenta características granulométricas similares às da areia grossa, tornando-se uma opção promissora para sua substituição no traço do concreto.

2.1 AGREGADOS

Os agregados são materiais essenciais na construção civil, presentes em diversas etapas e processos, como na fabricação de concreto, argamassa e pavimentação. Eles podem ser classificados em naturais ou artificiais, dependendo de sua origem, e em miúdos ou graúdos, conforme sua granulometria. A escolha do tipo adequado de agregado desempenha um papel crucial na qualidade, durabilidade e resistência das estruturas, além de influenciar diretamente aspectos como custo e sustentabilidade dos projetos. Assim, compreender as características e aplicabilidades dos diferentes tipos de agregados é indispensável para otimizar os resultados na construção civil.

2.2 Areia

Os agregados compõem cerca de 80% do peso do concreto e evoluíram de simples enchimentos para componentes fundamentais na definição de propriedades como resistência, trabalhabilidade e redução da retração. Segundo Smarzewski e Stolarski (2022), a densidade e a forma dos grãos influenciam diretamente o desempenho final, que deve equilibrar as exigências técnicas da obra com a viabilidade económica (CZARNECKI et al., 2024).

Classificados por origem, densidade e tamanho, esses materiais granulares são essenciais em argamassas, pavimentação e filtros (Mehta; Monteiro, 2014). A areia, especificamente, é um material de origem mineral resultante da desagregação de rochas (como o granito), com granulometria variando entre 0,05 mm e 5 mm, conforme a NBR 7214:2015 (RIBEIRO; SILVA; SCHONS, 2023).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Embora sua composição mineralógica varie conforme a rocha de origem, as areias quartzíticas são as mais comuns devido à alta resistência do quartzo aos agentes externos (Silva, 2023). Dependendo da região, podem ainda conter feldspatos, micas ou minerais, sendo categorizadas como fina, média ou grossa de acordo com o diâmetro dos seus grãos.

2.3 Brita

A brita tem ampla aplicação no setor da construção civil, sendo utilizada na fabricação de concreto, no revestimento de leitos de estradas de terra e ferrovias, em barramentos, entre outras finalidades estruturais, é um material amplamente utilizado na construção civil, resultante do processo de cominuição de diferentes tipos de rochas. O termo "brita" refere-se a fragmentos de rochas duras obtidos por meio do beneficiamento de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos como granito, gnaisse, basalto e calcário, geralmente com o auxílio de explosivos. Os principais produtos de pedreira incluem: rachão, gabião, brita graduada, brita corrida, brita 0 (pedrisco), brita 1, brita 2, brita 3, brita 4, brita 5, pó de pedra e areia de brita. Cada uma dessas classificações é determinada pelo tamanho dos fragmentos e sua aplicação específica na construção civil de acordo com a (ASTM C33, 2023).

As rochas utilizadas para a produção de brita são amplamente encontradas na natureza, sendo consideradas recursos minerais abundantes e de grande importância para a infraestrutura e a engenharia civil. Apesar da relativa abundância das rochas utilizadas na produção de brita, é fundamental considerar os desafios logísticos envolvidos em sua distribuição. O custo do transporte, desde a pedreira até os centros de distribuição ou ao consumidor final, pode elevar significativamente o preço do material. Como a maior parte desse transporte é realizada por via rodoviária, a proximidade entre a unidade de produção e os centros de consumo é um fator determinante para a viabilidade econômica da brita. Dessa forma, embora os recursos minerais sejam amplamente disponíveis, muitos deles acabam sendo antieconômicos para exploração devido aos altos custos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

logísticos (BEN-ALAYED et al., 2021).

2.3 Massará

O termo massará é uma designação regional (Teresina e Timon) para um sedimento conglomerático de matriz areno-argilosa. Geologicamente, caracteriza-se por camadas de seixos incrustadas em uma fração fina, resultante de processos de litificação e erosão pluvial (Geraldo et al., 2023). Historicamente subutilizado como material de aterro, o massará tem sido reavaliado sob a ótica da geotecnia sustentável e da economia circular, visando otimizar a estabilidade de infraestruturas e reduzir impactos ambientais (AL-BARED et al., 2021).

A presença de caulinita em sua matriz confere ao material propriedades ligantes e um elevado grau de aglomeração, o que justifica seu uso tradicional em argamassas de assentamento e reboco (Scalbi et al., 2022). O processo de cimentação natural do massará, semelhante ao de rochas sedimentares clásticas como o arenito, ocorre pela precipitação de substâncias (sílica, carbonatos ou óxidos de ferro) que preenchem os espaços entre os grãos, proporcionando maior coesão (LIU et al., 2024).

Tecnicamente, o massará destaca-se por apresentar uma proporção equilibrada entre argila e areia. Após um peneiramento simples para a remoção dos seixos, que podem ser reaproveitados no concreto, a fração fina substitui com vantagem a mistura convencional de areia e barro (Al-Hadithi & Al-Ani, 2023). Esta viabilidade técnica impulsionou, entre as décadas de 80 e 90, o programa municipal 'Massará do Povo' em Teresina – PI, Brasil, que fomentava a autoconstrução de habitações populares (GARCIA et al., 2020).

Nas últimas duas décadas, o mercado local registrou um novo crescimento na demanda por esse mineral. Essa tendência consolidou-se devido às limitações do barro comum, que frequentemente apresentava patologias como bolhas após a secagem, levando à sua substituição gradativa pelo massará, especialmente em revestimentos internos e externos (RESCIC et al., 2021).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

3. Metodologia

3.1 Métodos e Materiais

A pesquisa utilizou cimento do tipo CP II-F 32, areia extraída dos rios da cidade de Teresina (PI), brita como agregado graúdo proveniente de uma mineradora localizada na saída da cidade, massará lavado e água potável (Figura 1). O estudo compreendeu a caracterização técnica dos agregados, seguida da dosagem dos materiais para a moldagem dos corpos de prova.O objetivo central foi comparar o desempenho mecânico entre o concreto de referência (com areia) e o concreto experimental (com substituição da areia por massará). Adotou-se um traço padrão para resistência de 25 MPa, conforme prática usual de uma usina de concreto em Teresina (PI).

Foram moldados 24 corpos de prova cilíndricos, divididos em dois grupos de 12 amostras: um composto por agregado miúdo convencional (areia) e outro por massará. Os ensaios de resistência à compressão foram realizados aos 3, 7, 28 e 91 dias, permitindo a análise da evolução da resistência ao longo do tempo. Os dados de resistência à compressão foram submetidos à análise estatística para verificar a significância das variações observadas. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com arranjo fatorial 2×4, considerando dois tipos de agregados miúdos (areia convencional e massará lavado) e quatro idades de cura (3, 7, 28 e 91 dias), com três repetições por condição.

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para avaliar os efeitos principais e a interação entre os fatores. Previamente à ANOVA, a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Nos casos em que o valor de *p* indicou significância estatística ($p < 0,05$), procedeu-se à comparação múltipla de médias por meio do teste de Tukey, adotando-se nível de confiança de 95%.

Todas as análises estatísticas e a geração de gráficos foram realizadas no ambiente de computação científica RStudio.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Figura 1 - Materiais utilizados na dosagem do concreto.



REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Na etapa inicial da produção do concreto em estudo, utilizou-se cimento do tipo CP II-F 32. Esse cimento, de uso geral, apresenta boa trabalhabilidade e resistência satisfatória aos 28 dias, sendo amplamente empregado em diversas aplicações na construção civil, como estruturas de concreto armado, lajes, pisos e argamassas. Em seguida, utilizou-se areia como agregado miúdo, extraída do rio Poti, um dos principais cursos d'água que banham a cidade de Teresina (PI). O rio Poti percorre os estados do Ceará e do Piauí (ANA, 2004), possuindo extensão total de aproximadamente 538 km, desde a nascente até a foz. Sua bacia hidrográfica abrange uma área de cerca de 52.370 km², dos quais aproximadamente 38.797 km² estão situados no estado do Piauí e 13.573 km² no estado do Ceará, atravessando, ao longo de seu curso, vinte e quatro municípios.

Como agregado graúdo, foram utilizadas britas de diferentes granulometrias, especificamente brita 12 e brita 19 mm, provenientes da mineradora Minor, cuja jazida está localizada no município de Lagoa do Piauí (PI).

Adicionalmente, empregou-se um aditivo polifuncional com ação retardadora de pega, que atua como dispersor das partículas de cimento, evitando sua aglomeração, reduzindo a tensão superficial da água da mistura e promovendo melhorias na coesão e na trabalhabilidade do concreto. O massará utilizado neste estudo foi coletado em uma unidade beneficiadora localizada na Estrada da Alegria (Avenida Celso Pinheiro), em Teresina (PI), Brasil. Esses estabelecimentos fornecem o material extraído legalmente de jazidas e terraços fluviais situados na Zona Sul da cidade.

3.1 Caracterização dos materiais

Após a coleta, as amostras de areia e massará foram acondicionadas em recipientes apropriados e submetidas à secagem em estufa a 110 °C por um período de 24 horas, visando à eliminação da umidade. Em seguida, o material

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

seco foi peneirado em malha de 75 µm, com o objetivo de padronizar a granulometria para a realização dos ensaios de caracterização.

A caracterização física e química dos materiais foi conduzida conforme normas técnicas vigentes. A análise granulométrica por peneiramento (Figura 2) foi realizada de acordo com as normas ABNT NBR 17054:2022 e ABNT NBR 7211:2022. A composição química foi determinada por Fluorescência de Raios X (FRX), seguindo as diretrizes das normas ABNT NBR 12653:2014 e ASTM C618:2022, utilizando-se um espectrômetro Shimadzu, modelo EDX-700.A estrutura cristalina e a identificação mineralógica foram avaliadas por Difração de Raios X (DRX), empregando-se um difratômetro Shimadzu XRD-600, equipado com tubo de cobre (λ = 1,54056 Å). As análises foram realizadas com varredura no intervalo de 10° a 90° (2θ), a uma taxa de 2°/min, sendo os dados posteriormente processados por meio do software HighScore Plus.

Figura 2 - Distribuição granulométrica da areia e do massará



3.2 Dosagem do concreto

A tecnologia do concreto envolve diversas etapas, sendo a primeira delas a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

definição da dosagem (traço), a qual deve atender a condições previamente estabelecidas. O concreto no estado fresco deve apresentar trabalhabilidade adequada às condições de utilização, considerando os processos de transporte, lançamento e adensamento.

A dosagem do concreto deve resultar em uma mistura economicamente viável, com propriedades capazes de atender às exigências de desempenho em serviço, levando em consideração os materiais disponíveis. Dessa forma, a definição do traço torna-se uma etapa fundamental para garantir o equilíbrio entre desempenho mecânico, durabilidade e custo.

Diante do exposto, foram adotados traços com utilização de areia convencional e com massará lavado, conforme apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. Ressalta-se que o traço utilizado foi baseado no padrão adotado por uma usina de concreto de grande porte localizada em Teresina (PI), assegurando a representatividade prática dos resultados obtidos.

Destaca-se ainda que foi mantido o mesmo traço para ambos os tipos de materiais (areia e massará), com o objetivo de permitir uma comparação direta e precisa do desempenho mecânico entre os concretos produzidos. Essa abordagem possibilita avaliar, de forma isolada, a influência do agregado miúdo na resistência do concreto.

Posteriormente, com base nos resultados obtidos, propõe-se a realização de ajustes no traço, visando à otimização do consumo de materiais, à redução de custos e à melhoria do desempenho do produto final, especialmente no que se refere à relação custo-benefício do uso do massará como substituto da areia convencional.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Tabela 1 - Traço 25MPa utilizando areia como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10.00	-
Brita 12mm	10.30	
Brita 19mm	20.67	-
Areia	31.00	-
Aditivo		150
Água		6500
Total	71.97	6650

Tabela 2 - Traço 25Mpa utilizando massará como agregado miúdo.

Materiais	kg	ml
Cimento	10.00	-
Brita 12mm	10.30	
Brita 19mm	20.67	-
Massará	31.00	-
Aditivo		150
Água		6500
Total	71.97	6650

3.2 Consistência do concreto

A consistência do concreto fresco, definida como o seu grau de plasticidade, é um parâmetro crítico que determina a facilidade de aplicação do material em obra. Para avaliar essa propriedade, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test), seguindo rigorosamente a norma ASTM C143/C143M/20, equivalente à ABNT NBR 16889/2020. O procedimento consistiu no preenchimento de um molde tronco de cone sobre uma base metálica, sendo a amostra adensada em três camadas, com a aplicação de 25 golpes em cada camada. Após a retirada vertical do molde, mediu-se o abatimento da massa.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Os resultados revelaram comportamentos distintos em função do agregado miúdo utilizado. O concreto produzido com massará apresentou abatimento de 7 ± 2 cm, caracterizando uma consistência plástica, adequada para a maioria dos elementos estruturais. Por sua vez, o concreto com areia apresentou abatimento de 3 ± 2 cm, indicando uma mistura mais seca e com menor trabalhabilidade. Esses resultados evidenciam a influência das características físicas do agregado miúdo na mobilidade do concreto fresco, mesmo sob condições idênticas de dosagem.

Apesar da adoção de um traço idêntico para ambas as misturas, a variação na consistência está diretamente associada às características físicas do agregado miúdo. O massará, por apresentar maior teor de finos e maior área específica, promoveu melhor empacotamento das partículas e efeito lubrificante interno, resultando em maior abatimento. Em contrapartida, a areia natural, com menor teor de finos, apresentou menor coesão e maior atrito interno, reduzindo a trabalhabilidade do concreto.

Figura 3 - slump test do concreto com areia e massará





REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

3.3 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados 12 corpos de prova (Figura 4) para o concreto dosado com a areia e 12 corpos de provas para o concreto dosado com o massará, os moldes utilizadas forma os cilíndricos de 10 x 20 cm. A moldagem foi feita em conformidade com a NBR 5738, colocada a amostra dentro dos moldes, e adensado com haste metálica lisa de 600 mm por 16 mm em 2 camadas de 12 golpes cada. As amostras foram feitas em área protegida de interferências. Os moldes foram posicionados em base regularizada e plana. Após a moldagem, os testemunhos permaneceram intactos por 24 horas, no intuito de preservar as características do concreto.

Figura 4 - moldagem dos corpos de prova





3.4 Cura

A desforma feita após 24 horas da moldagem, com os cuidados necessários para não abalar ou danificar o corpo-de-prova. Foi marcado com cera na base superior do CP com o número do lote**.** Imediatamente após a desforma, colocaram-se os mesmo em tanque com água (Figura 5) onde permaneceram até o momento de ruptura. A cura é uma das principais etapas na execução do concreto e tem participação direta no desenvolvimento do processo de hidratação da pasta de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

cimento que veda o concreto, mantém a água de amassamento no seu interior, para evitar a retração e o transporte de substancias que poderão interferir na hidratação.

Figura 5- cura dos corpos de provas



3.5 Rompimento dos corpos de provas

A resistência à compressão do concreto é obtida por meio de ensaios de cilindros. A moldagem dos corpos de prova e a realização dos ensaios seguem as normas ABNT NBR 5738 e ABNT NBR 5739. Os CPs foram retirados do tanque de agua e esperado um tempo para submetê-los ao teste de resistência que é feito pelo método do ensaio de compressão axial. O rompimento (Figura 6) foi feito em uma prensa hidráulica da marca Solotest, A máquina exerce uma força gradual de compressão sobre o CP até que o mesmo venha a romper, foi usado neoprene nas bases dos testemunhos para não haver diminuição dos valores dos resultados devido ao um possível mau acabamento das bases.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Figura 6- Rompimento do corpo de prova



4 Resultados e Discussão

1 Análise química por FRX

Os resultados da caracterização química, apresentados na Tabela 3, indicam que o cimento CP II-F-32 possui uma composição predominantemente constituída por Óxido de Cálcio CaO (61.98%) e Dióxido de Silício SiO_2 (20.90%), concentrações características de um clínquer Portland de elevada qualidade.

Os teores de Al_2O_3 (9.80%) e Fe_2O_3 (4.05%) corroboram a formação das fases mineralógicas aluminato tricalcário (C_3A) e ferroaluminato tetracálcico (C_4AF), determinantes para a cinética de pega e o desenvolvimento da resistência mecânica inicial. O teor de Óxido de Magnésio MgO (3.75%) cumpre os requisitos da NBR 16697/18, situando-se abaixo do limite normativo de 6.5%, o que mitiga riscos de expansão tardia por hidratação retardada. A perda ao fogo observada (4.41%) é consistente com a presença de adições minerais (fíler calcário) e eventuais processos de carbonatação ou umidade residual.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Quanto ao agregado miúdo, a análise mineralógica da areia revelou um material essencialmente composto por sílica - SiO_2 (91.36%), o que assegura inércia química em matrizes de cimento Portland. A baixa concentração de Fe_2O_3 (0.75%) atesta a pureza do agregado em relação a contaminantes ferríferos, característica fundamental para evitar a ocorrência de eflorescências ferrosas ou manchas de oxidação na superfície de acabamentos, as quais comprometeriam a estética e a aceitação visual da obra. Já o teor de Al_2O_3 (3.53%), associado à perda ao fogo de 3.04%, sugere uma presença residual de argilominerais ou feldspatos na amostra.

Em contrapartida, o massará apresentou um teor inferior de SiO_2 (73.71%) e uma concentração significativamente superior de Al_2O_3 (16.62%) em comparação à areia. Estes dados confirmam a natureza argilosa do material, justificando sua maior plasticidade e coesão intrínseca. A presença de Fe_2O_3 (2.47%) é o fator determinante para a coloração amarelada típica deste solo. Por fim, a perda ao fogo de 5.01% a mais elevada entre os materiais analisados evidencia a maior incidência de água de constituição nas fases argilosas e a possível presença de matéria orgânica.

Tabela 3 - Dados do FRX - Cimento, areia e massará

Amostras	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Outros óxidos	Perda ao fogo
CP II F 32	20.90	3.63	61.98	3.87	3.75	0.78	0.67	4.41
Areia	91.36	3.53	0.34	0.75	-	0.63	0.36	3.04
Massará	73.71	16.62	-	2.47	-	1.14	1.05	5.01

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

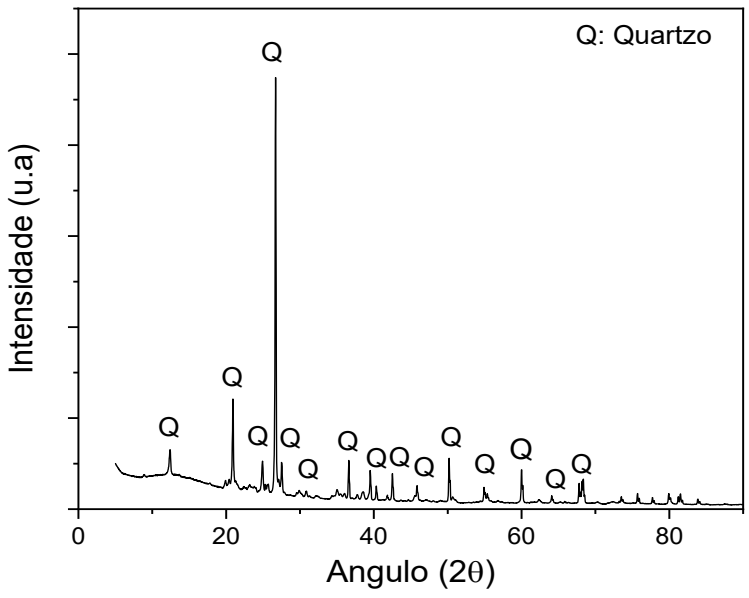
4.2 Caracterização mineralógica - DRX

A caracterização mineralógica, especialmente via Difração de Raios X (DRX), é o pilar fundamental para entender o comportamento de materiais geológicos, identificando como esses elementos estão organizados em fases minerais.

4.2.1 Caracterização mineralógica da areia

A convergência entre as técnicas de caracterização confirma a natureza predominantemente silicosa da amostra. Corroborando com o FRX que quantifica um teor de SiO2 de 91.36%, o DRX (Figura 7) identifica esta fase como quartzo cristalino, evidenciado pelo plano (101) em 26.6°. A discrepância entre o teor total de sílica e a intensidade dos picos de quartzo, somada à presença de Al2O3 (3.53%) e Perda ao Fogo (3.04%), indica que a amostra contém frações de aluminossilicatos (argilas) e traços de minerais acessórios, típicos de depósitos sedimentares naturais.

Figura 7- Caracterização por difração de raios-X (DRX) da areia



REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

4.2.2 - Caracterização mineralógica do massará

A caracterização mineralógica por difração de raios X (DRX) (Figura 8) evidenciou que a fase cristalina predominante na amostra é o quartzo (SiO_2), identificado pelo pico de maior intensidade localizado em aproximadamente 26,6° (2θ), além de outros reflexos secundários característicos desse mineral. Esse resultado apresenta forte concordância com os dados obtidos na análise química, os quais indicam um elevado teor de sílica (73,71%), confirmando a natureza essencialmente silicosa do material analisado.

A presença de caulinita foi confirmada por meio dos picos característicos situados em aproximadamente 12,3° e 24,8° (2θ), típicos desse argilomineral. A identificação dessa fase é coerente com o teor significativo de Al_2O_3 (16,62%) observado na composição química, bem como com os valores elevados de perda ao fogo (PF), atribuídos à desidroxilação da estrutura cristalina da caulinita durante o aquecimento. Esse comportamento evidencia a influência de minerais argilosos na composição do material, o que pode impactar propriedades como reatividade e demanda de água.

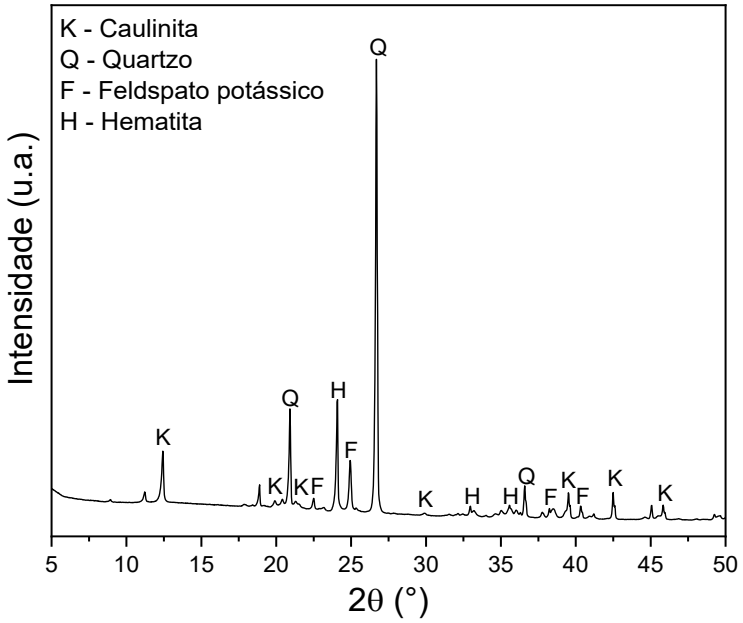
Adicionalmente, foram identificados picos de menor intensidade associados a feldspatos, possivelmente ortoclásio ou microclina, indicando a presença de fases aluminosilicáticas potássicas. Essa identificação corrobora os teores de K_2O (1,14%) obtidos na análise química, sugerindo uma contribuição secundária desses minerais na constituição da amostra. A presença de feldspatos, embora em menor proporção, pode influenciar o comportamento físico e mecânico do material, especialmente em processos que envolvem interação com a matriz cimentícia.

De forma geral, os resultados de DRX indicam que o material possui uma composição mineralógica complexa, dominada por quartzo, com contribuição significativa de caulinita e presença secundária de feldspatos, o que reforça a coerência entre as análises mineralógica e química, conferindo maior robustez à caracterização do material estudado.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Figura 8 - Caracterização por difração de raios-X (DRX) do Massará



4.3 Distribuição Granulométrica

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para determinar a porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Esse procedimento é fundamental para a caracterização dos agregados, uma vez que a distribuição granulométrica

influencia diretamente propriedades como trabalhabilidade, compacidade, resistência mecânica e consumo de água do concreto. O ensaio é geralmente realizado por meio de peneiramento, no qual a amostra seca é submetida a uma série de peneiras com aberturas padronizadas, permitindo a separação das partículas conforme seus diâmetros.

A partir dos resultados obtidos, é possível construir a curva granulométrica e determinar parâmetros importantes, como o módulo de finura e a classificação do agregado. Dessa forma, a análise granulométrica constitui uma etapa essencial no controle tecnológico dos materiais, contribuindo para a dosagem adequada e para o desempenho final do concreto

4.3.1 Distribuição Granulométrica da areia

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Os resultados da distribuição granulométrica da areia (Figura 9) indicam um Módulo de Finura (MF) de 1,93, o que a classifica, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 7211 (2022), como areia fina. O material apresentou diâmetro máximo característico de 4,75 mm, correspondente à peneira nº 4, evidenciando a ausência de frações mais grosseiras no conjunto analisado.

A distribuição granulométrica observada revela uma predominância de partículas de menores dimensões, o que implica em uma elevada área superficial específica do agregado. Essa característica tem impacto direto no comportamento do concreto no estado fresco, uma vez que partículas mais finas demandam maior quantidade de água para recobrimento adequado, a fim de garantir a lubrificação da mistura e a manutenção da trabalhabilidade desejada. Como consequência, o aumento da relação água/cimento pode ser necessário caso não sejam adotadas estratégias de correção, como o uso de aditivos plastificantes.

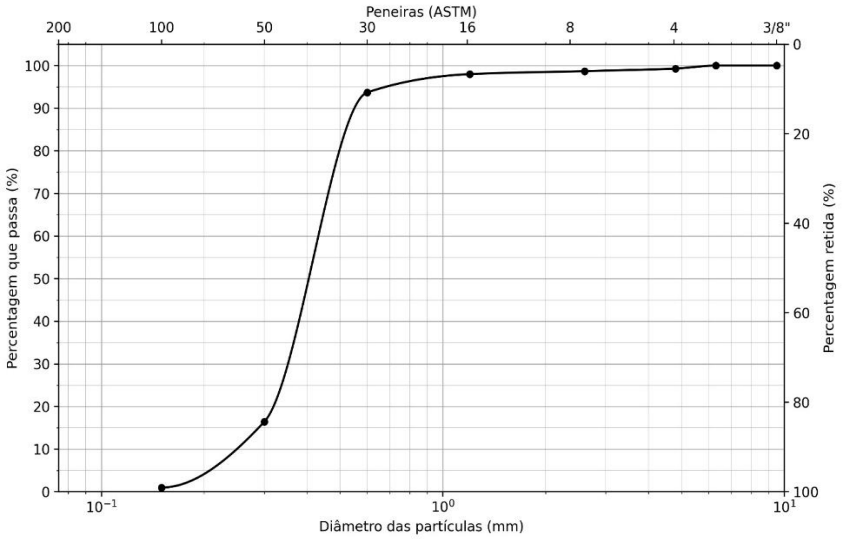
Além disso, a maior quantidade de finos pode favorecer a coesão da mistura, reduzindo a tendência à segregação e à exsudação. No entanto, se não houver um controle adequado da dosagem, esse mesmo fator pode comprometer o desempenho mecânico do concreto endurecido, especialmente no que se refere à resistência à compressão e à durabilidade, em função do possível aumento da porosidade.

Sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de uma areia com MF baixo exige maior rigor no controle da dosagem dos materiais, sendo recomendável o ajuste da curva granulométrica por meio da combinação com agregados mais grossos ou a utilização de adições minerais, visando otimizar o empacotamento das partículas. Dessa forma, torna-se possível mitigar os efeitos adversos da elevada finura, garantindo um desempenho mais equilibrado tanto no estado fresco quanto no estado endurecido do concreto.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Figura 9 - Gráfico da distribuição granulométrica da areia



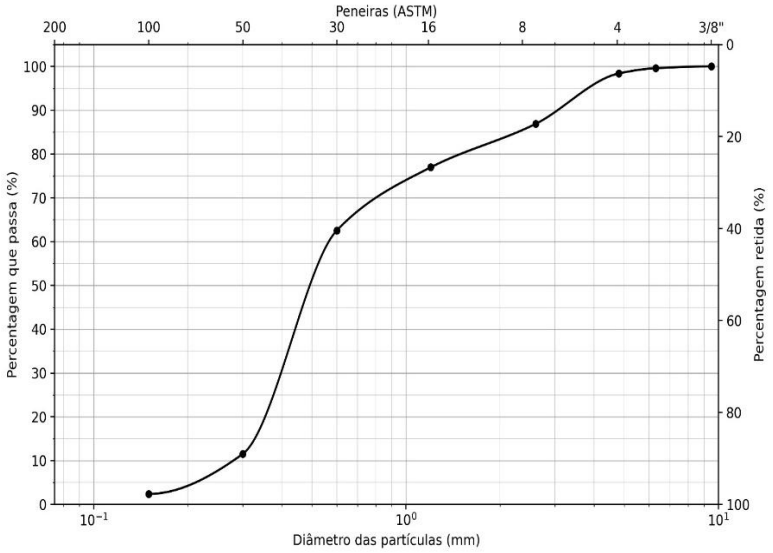
4.3.2 Distribuição Granulométrica do massará

A análise granulométrica do massará lavado (Figura 10), a amostra de 2000 g revelou predominância na fração das areias, com retenção majoritária de 51.03% na peneira de 0,30 mm. O diâmetro máximo característico foi de 6.3 mm, correspondente à abertura da peneira de 1/4". Conforme a NBR 7211/22, o material apresentou um Módulo de Finura (MF) de 2.61, classificando-o como areia média. Esse perfil indica um equilíbrio granulométrico favorável para uso como agregado miúdo em concretos, otimizando a trabalhabilidade e a coesão da mistura sem elevar a demanda de água.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Figura 10 - Gráfico da distribuição granulométrica do massará



A comparação entre os agregados revela distinções significativas: enquanto o massará lavado (MF 2.61) classifica-se como areia média, a amostra de areia convencional (MF 1.93) enquadra-se como areia fina, conforme a NBR 7211/22. O maior diâmetro máximo do massará (6,3 mm vs. 4.75 mm) e sua concentração granulométrica sugerem um empacotamento de partículas mais eficiente. Em contraste, a finura da areia convencional implica uma elevada área superficial específica, o que, segundo Mehta e Monteiro (2023), exige um maior volume de pasta para lubrificação das partículas, elevando a demanda de água e reduzindo a trabalhabilidade da mistura quando comparada ao desempenho otimizado do massará.

4.4 Comparativo dos ensaios de compressão aos 3, 7, 28 e 91 dias

Os ensaios de compressão dos corpos de prova cilíndricos foram realizados nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias para concretos produzidos com areia convencional e massará.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

4.4.1 Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples

Os resultados da resistência à compressão simples (Tabela 4 e Figura 11) evidenciam a superioridade mecânica do concreto produzido com massará lavado em todas as idades analisadas. O material superou a resistência de projeto (fck = 25 MPa) de forma precoce, atingindo 30,40 MPa já aos 7 dias, enquanto o traço de referência (areia convencional) apresentou, nessa mesma idade, resistência de 25,84 MPa, valor apenas ligeiramente superior ao fck. Ressalta-se que o concreto com areia atingiu patamar próximo a 30 MPa somente aos 28 dias (30,84 MPa).

Aos 91 dias, o desempenho do massará consolidou-se de forma ainda mais expressiva, alcançando 43,48 MPa, em comparação aos 32,84 MPa obtidos pelo concreto com areia, o que representa um incremento de aproximadamente 32,4% na resistência mecânica. Esse desempenho superior está diretamente relacionado à melhor eficiência granulométrica do massará (MF = 2,61), que proporciona uma distribuição mais adequada das partículas. Conforme destacado por Mehta e Monteiro (2023), uma graduação otimizada do agregado miúdo favorece um empacotamento mais denso, reduzindo a porosidade da zona de transição interfacial (ZTI) e, consequentemente, elevando a resistência mecânica do concreto. Em contraste, a maior finura da areia convencional (MF = 1,93) implica em maior área superficial específica, elevando a demanda por pasta e podendo comprometer a qualidade da ZTI.

Adicionalmente, o ganho significativo de resistência do concreto com massará entre 28 e 91 dias (de 36,40 MPa para 43,48 MPa) sugere a continuidade de processos físico-químicos favoráveis à matriz cimentícia. Estudos de Kosmatka e Wilson (2021) indicam que a utilização de agregados lavados contribui para a remoção de impurezas, como argilominerais deletérios,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

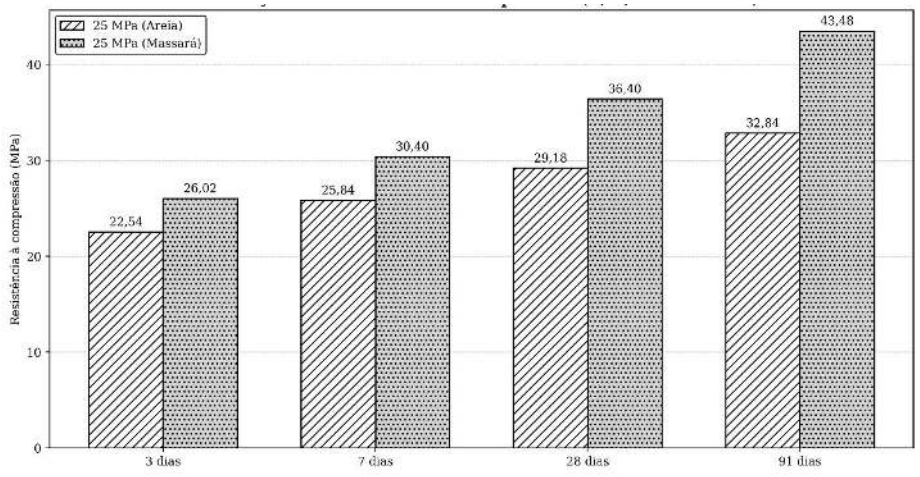
favorecendo a hidratação do cimento e o desenvolvimento progressivo da resistência ao longo do tempo.

Dessa forma, os resultados confirmam que o massará lavado se apresenta como uma alternativa tecnicamente superior ao agregado miúdo convencional, promovendo ganhos significativos de desempenho mecânico e potencialmente contribuindo para a produção de concretos com maior qualidade estrutural e durabilidade.

Tabela 4: Resultados da resistência à compressão em média aos 3, 7,28 e 91 dias em Mpa

	Resistência à compressão simples em média (Mpa)			
Tipo de concreto	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
25MPa (Areia)	22.54	25.84	30.84	32.84
25MPa (Massará)	26.02	30.40	36.40	43.48

Figura 11 - Resultados da resistência à compressão em média aos 3, 7,28 e 91 dias em Mpa



REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

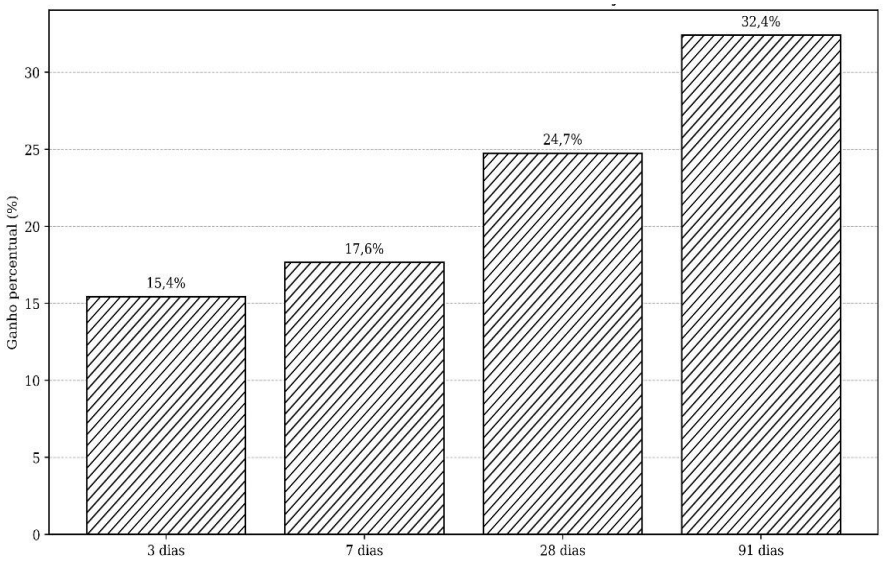
4.4.2 Ganho percentual do concreto com massará em relação ao convencional

A evolução do ganho percentual de resistência à compressão do concreto com massará lavado em relação ao concreto de referência (areia convencional) é apresentada na Figura 12. Os dados revelam um desempenho progressivo do massará ao longo de todas as idades ensaiadas. Inicialmente, aos 3 e 7 dias, observa-se um ganho de 15.4% e 17.6%, respectivamente. Este incremento inicial sugere que a granulometria média do massará (MF 2.61) proporciona um empacotamento de partículas mais eficiente desde as primeiras fases de hidratação do cimento. Na idade de controle estrutural (28 dias), o diferencial de resistência atinge 24.7%, consolidando a superioridade técnica do material. O aspecto mais relevante, contudo, ocorre aos 91 dias, onde o ganho relativo atinge o seu ápice de 32.4%. Esse fenômeno pode ser atribuído à interação entre a distribuição granulométrica otimizada e a composição mineralógica do massará. Conforme as análises de DRX e FRX, a presença de finos de caulinita e o teor de alumina podem favorecer uma zona de transição interfacial (ZTI) mais densa e menos porosa, resultando em um ganho de desempenho que se acentua com o avanço da idade da matriz cimentícia, corroborando estudos recentes que demonstram como a hibridização com caulinita e alumina otimiza a ligação química e a microestrutura interna do concreto em idades avançadas (Abdel-Gawwad et al., 2024; Wang et al., 2024).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

Figura 12 - Ganho percentual do concreto com massará em relação ao convencional



4.4.3 Análise de variância ANOVA

A análise de variância (ANOVA) revelou efeitos significativos para os fatores tipo de agregado ($F(1.24) = 1665.9$; $p<0.001$), tempo de cura ($F(3.24) = 1378.7$; $p<0.001$) e para a interação entre ambos os fatores ($F(3.24) = 118.7$; $p<0.001$). A significância da interação indica que o desenvolvimento da resistência à compressão ao longo do tempo ocorre de forma distinta entre o concreto com areia convencional e o concreto com massará lavado. O Teste de Tukey confirmou que o concreto de massará apresenta uma resistência significativamente superior à da areia em todas as idades ensaiadas ($p<0.001$). Notavelmente, aos 7 dias, o concreto de massará já não apresentava diferença estatística significativa em relação ao concreto de areia aos 28 dias ($p = 0.066$), evidenciando a sua elevada capacidade de ganho de resistência inicial. Aos 91 dias, o contraste de médias reforça a superioridade do massará, com uma diferença média de 11.45 MPa a mais que a areia convencional na mesma idade ($p<0.001$). Estes resultados estatísticos corroboram a tese de que a distribuição granulométrica otimizada do

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

massará lavado promove uma matriz cimentícia mais densa e eficiente. Conforme sugerido por Mehta e Monteiro (2023), este comportamento é fruto de uma zona de transição interfacial mais íntegra, validada aqui pelo rigor estatístico dos dados.

5. Conclusão

Os resultados obtidos nos ensaios de validação confirmam a plena viabilidade técnica do massará lavado como substituto do agregado miúdo convencional em matrizes cimentícias. O material não apenas atendeu integralmente aos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 7211 (2022), como também apresentou desempenho mecânico superior em todas as idades analisadas. Aos 28 dias, o concreto produzido com massará atingiu resistência média de 36,40 MPa, em comparação aos 30,84 MPa obtidos pelo concreto com areia, representando um incremento de aproximadamente 18% na resistência à compressão.

Sob o ponto de vista técnico, esse ganho de desempenho está diretamente associado à melhor distribuição granulométrica do massará, que favorece um empacotamento mais eficiente das partículas, reduzindo vazios internos e promovendo uma zona de transição interfacial (ZTI) mais densa e resistente. Como consequência, há uma melhora significativa na integridade da matriz cimentícia e no comportamento mecânico do concreto, tanto em idades iniciais quanto ao longo do tempo.

Do ponto de vista ambiental e sustentável, a utilização do massará lavado configura-se como uma alternativa estratégica relevante para a mitigação dos impactos decorrentes da extração de areia em leitos de rios, ambientes naturalmente sensíveis e sujeitos à degradação. A substituição parcial ou total da areia convencional contribui para a preservação dos recursos hídricos, a proteção das matas ciliares e a redução dos processos erosivos associados à atividade mineradora.

Adicionalmente, a valorização de materiais alternativos de origem local, como o massará, promove a racionalização do uso de recursos naturais e pode contribuir para a redução de custos logísticos e energéticos na cadeia produtiva do concreto. Dessa forma, este estudo demonstra que a incorporação do massará lavado não apenas potencializa a durabilidade e o desempenho estrutural das

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

edificações, mas também consolida uma prática de engenharia alinhada aos princípios da sustentabilidade, da economia circular e do uso consciente dos recursos naturais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738:2015 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2023 - Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7212:2021 - Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7214:2015 - Areia normal para ensaio de cimento - Especificação. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7216:2001 - Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054:2022 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935:2024 - Agregados -Terminologia. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248:2022 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2022.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 3310-1:2010 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211 Agregados para

concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7211:* Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP 80 anos: a história do cimento Portland no Brasil. São Paulo: ABCP, 2021.

AL-HADITHI, A. I.; AL-ANI, H. R. Characteristics of clay soils intended for construction. ResearchGate, 2023.

AL-BARED, M. A. M. *et al*. Sustainable soil stabilization: Innovations, environmentally friendly additives, and future perspectives. Journal of Cleaner Production, [S. l.], v. 312, p. 127768, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM C33 / C33M-23: Standard Specification for Concrete Aggregates. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2023.

BEN-ALAYED, A. et al. Supply chain optimization for the aggregates industry: A case study of the construction sector. Journal of Cleaner Production, v. 310, p. 127-138, 2021.

BAWAB, J. et al. Impact of clay particles on concrete compressive strength. Journal of Building Engineering, [S. l.], v. 43, 102555, 2021.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2022.

BAUER, L. A. FALCÃO; DIAS, JOÃO FERNANDO (coord.). Materiais de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

construção: volume 2. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2022. 628 p. ISBN 9788521632351.

BELL, Emma; BRYMAN, Alan; HARLEY, Bill. Business Research Methods. 6. ed. Oxford: Oxford University Press, 2022.

BORG, J.; MAYO, A. The Photography of Research: Visual Evidence in the Humanities and Social Sciences. 2nd ed. London: Routledge, 2021.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e suas aplicações. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2022.

CHAVAN, S. S. Image to Text Extraction. International Journal of Science, Engineering and Technology, [*S. l.*], v. 12, n. 2, p. 1-10, mar. 2024.

CHANDRABHAN, S.; PRAMOD, K. Characteristics of river sand and its impact on concrete performance. Journal of Geological Engineering and Technology, v. 9, n. 1, p. 45-58, fev. 2025.

CZARNECKI, L., *et al*. (2024). Concrete-Polymer Composites in Circular Economy: Proceedings of the 17th International Congress on Polymers in Concrete *(ICPIC 2023)*. Springer.

DE SOUZA, A. et al. Influence of gas impurities in flue gas on the carbonation curing and subsequent water curing of cement compacts. Journal of Building Engineering, [S. l.], v. 76, 107312, 2023.

ESCOLA ENGENHARIA. Aglomerantes Parte I: materiais de construção civil. [S. l.], 29 mar. 2020. 1 vídeo (22 min). Publicado pelo canal Escola Engenharia.

FICKLER, J.; SCHLAICH, M. Lightweight Aggregate Concrete: Properties and Applications. Structural Engineering International, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 192-201, 2021.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

FLICK, U. Introdução à pesquisa qualitativa. 4. ed. Porto Alegre: Penso, 2024.

GARCIA, C.; et al. Earth architecture in Uruguayan mutual-aid housing cooperatives. University of Geneva, 2020.

GOMEZ-HERAS, M.; VAZQUEZ-CALVO, C. Weathering of stone heritage: From the macro- to the nano-scale. Geological Society, London, Special Publications, v. 416, n. 1, p. 237-251, 2019.

GERALDO, R. H. *et al*. Reuse of construction and demolition waste as a substitute for natural soil in geotechnical applications: A review. Sustainability, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 3215, 2023.

HOU, D.; MA, H.; ZHOU, X.; LI, Z. Advanced Concrete Technology. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2022.

HABERT, G. et al. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. Nature Reviews Earth & Environment, v. 1, p. 559–573, 2020.

HANIFA, A. et al. Advancements in low-carbon concrete as a construction material for sustainable infrastructure: A review. Materials Today Sustainability, v. 23, 100421, 2023.

KAUR, P.; SINGH, B. Studies on mechanical performance of treated and non-treated coarse recycled concrete aggregate and its performance in concrete – an Indian case study. Research on Engineering Structures & Materials, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 341-362, 2022.

KOSMATKA, S. H.; WILSON, M. L. Design and Control of Concrete Mixtures: the guide to applications, methods, and materials. 17. ed. Skokie, IL: Portland Cement Association, 2021.

LACHAT, et al. Life cycle and performance assessment of recycled aggregates in road construction. Road Materials and Pavement Design, v. 26, n. 1, 2025.

LIU, Z. et al. Dynamic coupling between cementation and porosity evolution of clastic rock. Marine and Petroleum Geology, v. 162, 2024.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

LI, B., ET AL. (2023). Effects of Fines Content on Durability of High-Strength Manufactured Sand Concrete. *Materials*, 16(2), 522.

MINAYO, M. C. S. Análise qualitativa: teoria, passos e fidedignidade. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 26, n. 11, p. 621-626, 2021. Aceder via SciELO.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 5th ed. New York: McGraw Hill, 2023.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Concrete Technology. 3rd ed. London: Pearson Education, 2019.

NAVARRO, G. R. B. et al. Chemical weathering processes generating the raw material used in porcelain stoneware industry in the São Paulo State, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, v. 119, 104031, 2022.

RESCIC, S. et al. Earthen Plasters Stabilized through Sustainable Additives: An Experimental Campaign. Sustainability, v. 13, n. 3, 1090, 2021.

RIBEIRO, J. A., SILVA, A. C., & SCHONS, E. (2023). Agregados miúdos não convencionais como alternativa na composição do concreto. Revista Foco, 16(12), 1-23.

SILVA, J. L. O. (2023). Análise de propriedades mecânicas de concretos produzidos com diferentes dosagens de agregados reciclados de concreto (Dissertação de Mestrado).

Universidade Federal de Alagoas.

SILVA, J. A. A evolução da construção civil: da sobrevivência à tecnologia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

SHIVABARASAD, B. S.; SAMANT, A. K. Recycled Concrete Aggregates: A Review on Properties and Applications in Sustainable Construction. Journal of Sustainable Infrastructure and Rehabilitation, v. 3, n. 1, 2024.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36

SMARZEWSKI, P., & STOLARSKI, A. (2022). Properties and Performance of Concrete Materials and Structures. MDPI.

SCALBI, A. et al. Characterization of natural clays for sustainable building materials: The role of mineralogy and grain size distribution. Construction and Building Materials, v. 342, 2022.

SOUTSOS, M. (2022). ICE Handbook of Concrete Durability. (2ª ed.). ICE Publishing.

TECNOMOR. História do cimento: dos primórdios à atualidade. [S. l.]: Tecnomor, 7 jun. 2021.

VIGNESHWARI, M., & ARUNPRAKASH, E. (2024). Performance and sustainability assessment of concrete with quarry dust as a complete replacement for natural sand. *Journal of Building Engineering*, 82, 108234.

VÁZQUEZ-TARRÍO, D., RECKING, A., LIÉBAULT, F., TAL, M., & MENÉNDEZ-DUARTE, R. (2020). Textural signatures of sediment supply in gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(11), 2633-2649.

XIAO, J., ZOU, S., YU, Y., WANG, Y., DING, T., ZHU, Y., & CHU, G. (2022). Concrete recycling: Research, directions, and applications. *Construction and Building Materials*, 327, 126895.

YIN, R. K. Pesquisa qualitativa do início ao fim. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2023.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 13/02/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/vakj3d94
Pages: 1-36