










## Influência da proporção de areia nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas para construção

M. Navarrete-Seras<sup>1\*</sup> , W. Martinez-Molina<sup>1</sup> , H. L. Chavez-Garcia<sup>1</sup> ,  
A. Sanchez-Calvillo<sup>1,2</sup> , M. Arreola-Sanchez<sup>1,4</sup> , J. A. Borrego-Perez<sup>1,4</sup> ,  
N. A. Perez-Castellanos<sup>4,5</sup> , R. P. Ruiz-Torres<sup>6</sup> , A. M. Duran-Ramos<sup>1</sup>,  
E. M. Alonso-Guzman<sup>1,3\*</sup> 

\* Autor de Contato: [mnavarrete@umich.mx](mailto:mnavarrete@umich.mx)

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.684>

Recebido: 01/04/2023 | Correções recebidas: 16/04/2023 | Aceito: 19/04/2023 | Publicado: 01/05/2023

### RESUMO

As proporções de areia nas argamassas de tipo II foram analisadas de acordo com a norma N-CMT-2-01-004/02. Foram utilizados três tipos de agregados da região de Morelia, Michoacán para determinar a sua influência nas suas propriedades físico-mecânicas. Considerando a utilização de diferentes materiais cimentícios (CM): cimento Portland mais cimento de alvenaria (B2) e cimento Portland mais cal (B1). Foram preparadas misturas para B1 e B2 com relações areia/MC de 2,25 para 4. Foram determinadas a fluidez, resistência uniaxial à compressão (UCS) e resistividade elétrica úmida (WER). Estudando a relação entre a fluidez e a quantidade de água/MC, concluindo que o tipo de agregado e as proporções modificam a fluidez e a demanda de água no estado fresco com impacto no UCS e no WER.

**Palavras-chave:** argamassas de construção; resistividade elétrica; agregados finos; resistência mecânica, dimensão das partículas.

**Citar como:** Navarrete-Seras, M., Martinez-Molina, W., Chavez-Garcia, H. L., Sanchez-Calvillo, A., Arreola-Sanchez, M., Borrego-Perez, J. A., Perez-Castellanos, N. A., Ruiz-Torres, R. P., Duran-Ramos, A. M., Alonso-Guzman, E. M. (2023), “*Influência da proporção de areia nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas para construção*”, Revista ALCONPAT, 13 (2), pp. 158 – 174, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i2.684>

<sup>1</sup> Materials Department, Faculty of Civil Engineering, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México, 58040.

<sup>2</sup> Sustainable Energy, Machinery and Buildings (SEMB), Universitat de Lleida, Lleida, Spain, 25002.

<sup>3</sup> PIDA, Faculty of Architecture, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México 58040.

<sup>4</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.

<sup>5</sup> Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, Coyoacán, CDMX, México, 04510.

<sup>6</sup> Faculty of Architecture, UNACH, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 29050.

### Contribuição de cada autor

Neste trabalho, a experimentação foi realizada por M. Navarrete-Seras (50%), AM Duran-Ramos (50%); atividade de pesquisa bibliográfica M. Navarrete-Seras (25%), AM Duran-Ramos (25%), A. Sanchez -Calvillo (25%) e EM Alonso- Guzman (25%); atividade de extração de informação por W. Martinez -Molina (20%), JA Borrego- Perez (20%), HL Chavez Garcia (20%), EM Alonso- Guzman (20%) e M. Arreola- Sanchez (20%); análise e discussão dos resultados por M. Navarrete (20%), W. Martinez -Molina (20%), M. Arreola-Sanchez (20%), JA Borrego- Perez (20%) e HL Chavez García (20%) ; a redação do documento por A. Sanchez -Calvillo (20%), NA Perez -Castellanos (20%), RP Ruiz-Torres (20%), W. Martinez -Molina (20%) e M. Arreola- Sanchez (20%); a revisão do texto por AM Duran-Ramos (20%), NA Perez -Castellanos (20%), RP Ruiz-Torres (20%), M. Navarrete-Seras (20%) e EM Alonso- Guzman (20%); o desenho das figuras e a adaptação ao formato por W. Martinez -Molina (25%), HL Chavez-Garcia (25%), M. Arreola- Sanchez (25%) e JA Borrego- Perez (25%); Tradução para o inglês de A. Sanchez -Calvillo (60%), NA Perez -Castellanos (20%) e RP Ruiz-Torres (20%).

## **Influence of sand proportion in the physical and mechanical properties of construction and building mortars**

### **ABSTRACT**

The influence of sand proportion of in mortars Type II was studied according to the standard N-CMT-2-01-004/02. Three different types of fine aggregates from the region of Morelia, in Michoacan, were used to determine their influence in the physical and mechanical properties. Different cementitious materials (CM): Portland cement plus lime (B1), and Portland cement plus construction cement (B2) were considered and mixed. The mortar mixtures were designed for B1 and B2 with different volume ratios of aggregates/CM, from 2.25 to 4. The characterization determined the fluency, the uniaxial compressive strength (UCS) and the wet electrical resistivity (WER). Analyzing the fluency and the ratio water/CM it was concluded that the aggregate properties and their proportions modify the water demand in the fresh state of the mortar and consequently the UCS and WER.

**Keywords:** construction mortars; electrical resistivity; fine aggregates; mechanical resistance; sieve analysis.

## **Influencia de la proporción de arena en las propiedades físicas y mecánicas de morteros para la edificación**

### **RESUMEN**

Se analizó la influencia de la proporción de arena en morteros Tipo II según norma N-CMT-2-01-004/02 empleando tres tipos de áridos de la región de Morelia, Michoacán determinando su influencia en sus propiedades físico-mecánicas, contemplando el uso de diferentes materiales cementantes (MC): el cemento Portland más cal (B1), cemento Portland más cemento de albañilería (B2). Se elaboraron mezclas para B1 y B2 con relaciones en volumen arena/MC, desde 2.25 hasta 4, determinando la fluidez, resistencia a compresión uniaxial (UCS) y resistividad eléctrica húmeda (WER). Se estudió la relación entre la fluidez y la cantidad de agua/MC, concluyendo que el tipo de árido y proporciones modifican la fluidez y demanda de agua en estado fresco impactando en UCS y WER.

**Palabras clave:** morteros de construcción; resistividad eléctrica; agregados finos; resistencia mecánica, granulometría.

#### **Licença Creative Commons**

Copyright (2023) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

#### **Discussões e correções pós-publicação**

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2024, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2023.

#### **Informações legais**

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, edifícios residenciais e casas foram construídos com diferentes materiais de construção, como rochas regulares e irregulares, tijolos cerâmicos, madeira ou blocos de terra crua, entre muitos outros. Estas paredes e pavimentos costumam ter tanto argamassas colantes para alvenaria como de revestimento para revestir estes sistemas (Álvarez Galindo et al., 1995). As argamassas são misturas que incorporam ligantes inorgânicos, agregados, água e outros elementos utilizados como aditivos. Os principais objetivos desses sistemas são unir os elementos de construção, preencher os espaços vazios como agentes de vedação e proteger as superfícies e os diferentes sistemas de agentes externos (Sánchez Tizapa et al., 2017; Wu et al., 2021).

Na Roma Antiga, os recipientes onde eram transportadas as misturas de pasta de cal e areia costumavam ser chamados de “mortarius”, e com o tempo o termo derivou para a atual “argamassa” (“mortero” em espanhol) com a qual o elemento é designado. Encontramos os primeiros registros da menção de argamassas em Vitruvio, que detalha o processo de seleção e produção de calcário para uso na construção (Navarro-Mendoza et al., 2023). Esses sistemas tradicionais foram utilizados durante séculos para a construção de fundações, paredes portantes, pavimentos e revestimentos de todos os tipos, até a popularização do cimento Portland (Álvarez Galindo et al., 1995; Navarro-Mendoza et al., 2020).

As argamassas tiveram vários usos na construção ao longo do tempo; por exemplo, em edifícios podem ser utilizadas pelas suas propriedades térmicas e acústicas, também para prevenir a proliferação de fauna ou flora nocivas ou problemáticas, ou ainda para atingir determinadas propriedades estéticas. No que diz respeito à sua função adesiva, as argamassas necessitam de uma resistência mecânica adequada para permitir que as alvenarias dos elementos estruturais suportem as cargas necessárias. Antes do surgimento do cimento da construção moderna, no México, artesãos e construtores costumavam adicionar cal à mistura para aumentar os tempos de utilização e aplicação das argamassas. A cal tinha a função de reter a água para permitir a hidratação adequada e a cura interna. Este tipo de mistura, resultado da experiência nos trabalhos, é denominado argamassa terciária, devido aos três elementos utilizados: cimento, cal e agregados. Atualmente, o cimento de alvenaria substituiu significativamente o uso de cal com cimento Portland.

A argamassa é um produto fácil de fazer, pois os elementos necessários (água, ligantes e areia) para fazer a mistura são acessíveis e a aplicação do sistema é simples. No entanto, os usuários têm subestimado a importância do uso de proporções adequadas dos componentes, e essa situação tem gerado problemas como diminuição da resistência e aderência, deterioração estrutural ou contração que causa o aparecimento de fissuras que reduzem a vida útil das argamassas (Jacques et al., 2023; Li et al., 2023). Em muitos casos, as propriedades físicas e mecânicas dos agregados das jazidas são desconhecidas, com os preços mais baixos determinando a seleção do material.

A classe e as proporções utilizadas dos materiais que compõem as argamassas influenciam nas propriedades no estado fresco (Giordani & Masuero, 2019) e, conseqüentemente, no comportamento no estado endurecido (Haach et al., 2011). Uma das características mais desejadas durante o estado fresco é a trabalhabilidade, que deve ser adaptada às exigências de execução dos revestimentos ou acabamentos para garantir uma boa aderência à superfície (Ribeiro & Oliveira Rey, 2019; Tena et al., 2017). Alguns elementos que afetam diretamente as propriedades da argamassa são as matérias-primas como a areia e sua qualidade. Por esse motivo, a análise reológica é essencial para determinar se os agregados atendem às normas estabelecidas e se suas qualidades estão afetando a viscosidade e a trabalhabilidade das argamassas (Denish & Ozbakkaloglu, 2023; Li et al., 2022; Westerholm et al., 2008).

Normalmente, os agregados miúdos (FA, sigla em inglês) representam cerca de 35% do volume total da argamassa, sendo um dos componentes mais importantes da mistura. Portanto, o uso de diferentes tipos de areia com geometrias irregulares e uma distribuição granulométrica ineficiente

pode resultar na deterioração das propriedades de trabalhabilidade, reduzindo a densidade e aumentando a área superficial específica, fazendo com que a pasta reduza sua espessura (Hafid et al., 2016; Stolz & Masuero, 2018). A morfologia dos agregados miúdos também desempenha um papel importante nas propriedades físicas da argamassa devido ao impacto direto na reologia (Durán Ramos, 2021; Ren et al., 2021).

Vários estudos têm procurado analisar a importância dos FAs e sua substituição parcial em argamassas. Foi relatado como o uso de agregados miúdos aumentou a viscosidade plástica das argamassas em 30% (Hu, 2005); outras investigações compararam o efeito no desempenho de argamassas de cimento Portland com a adição de geopolímeros com partículas residuais de vidro (Gao et al., 2022); o efeito da carbonatação também foi estudado adicionando diferentes materiais residuais com propriedades cimentícias e/ou pozolânicas em substituição ao cimento Portland, determinando se eles podem limitar ou melhorar a carbonatação das misturas após o endurecimento (Martinez-Molina et al., 2021).

Outros trabalhos pesquisaram a adequação do plástico reciclado como substituto do FA, relatando uma redução de 10 a 20% na resistência à compressão e tensão direta (Ullah et al., 2021). A influência da adição de fibras também foi analisada nas propriedades no estado fresco, na deformabilidade e no comportamento mecânico (Brazão Farinha et al., 2021); além disso, também foram estudados os efeitos de adições como sílica ativa, superplastificantes e a relação água/aglomerante (Senff et al., 2009). A substituição parcial da massa de cimento Portland por carbonato de cal em pó (0, 9, 16, 23 e 30%) também tem apresentado comprometimento nas propriedades reológicas, mecânicas e de durabilidade (Souza et al., 2020), bem como tais como casca de ovo triturada (Beng Wei et al., 2021), ou pozolanas naturais (HAMMAT et al., 2021).

O problema descrito em torno da importância dos agregados miúdos nas argamassas, aliado à ambiguidade descrita nas normas mexicanas (NMX-C-486-ONNCCE-2014 e N-CMT-2-01-004/02) em relação às proporções de cimento e água para a correta trabalhabilidade da argamassa, dão origem a este trabalho de pesquisa. Deve-se levar em conta que esta pesquisa foi realizada com jazidas de agregados finos de uma determinada área do México (Morelia). A importância deste trabalho está em visualizar as diferenças que podem existir na trabalhabilidade e no estado endurecido da argamassa ao utilizar diferentes jazidas de agregados na mesma área, além da confiabilidade e qualidade da argamassa atualmente utilizada como revestimento estrutural.

A presente investigação centra-se no estudo de toda a gama de relações cimento/areia que as referidas normas permitem, para determinar a quantidade máxima de areia que pode ser utilizada para produzir uma argamassa para uso estrutural, para além de estudar três tipos de areias naturais, FA, com diferentes dosagens de cimento hidráulico (cimento Portland), cimento de alvenaria e cal, para analisar a influência da proporção de areia nas propriedades físico-mecânicas. Essas misturas foram caracterizadas com técnicas de análise não destrutivas e com ensaios mecânicos como resistência à compressão; avaliar as melhores misturas com base nos requisitos das regulamentações nacionais e internacionais. Tudo isto, com o objetivo de aumentar o conhecimento técnico e científico sobre as argamassas habitualmente utilizadas na edificação e construção de infraestruturas, de forma a conseguir um impacto positivo na sua qualidade e durabilidade.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

As argamassas foram concebidas para serem aplicadas no interior e no exterior de edifícios, nomeadamente para utilização em habitações de autoconstrução. A norma N-CMT-2-01-004/02 para argamassas de alvenaria define três classes: I, II e III, dependendo dos componentes e dos valores mínimos de resistência mecânica. Os traços foram elaborados para argamassas Tipo II, sendo combinações volumétricas de cimento hidráulico, cimento de alvenaria e cal, com diferentes quantidades de areia para determinar o melhor desempenho. A proporção de areia em nenhum caso

foi inferior a 2,25 ou superior a 4 vezes a soma dos materiais cimentícios em volume, conforme indicado pelas normas acima mencionadas.

Para esta pesquisa, toda a parte experimental foi realizada no laboratório de materiais “Ing. Luis Silva Ruelas”, da Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade de Michoacana, começando pelo controle de qualidade de todos os materiais individualmente. Foi utilizado o cimento CPC 30R RS, segundo NMX-C-414-2017-ONNCCE, que é classificado como Tipo II segundo ASTM C150-C150M-22 (ASTM International, 2022c). Por outro lado, a cal está em conformidade com ASTM E1266-20 (ASTM International, 2020b). As areias foram coletadas em jazidas da região de Morelia, de Michoacán, no México, e analisadas em laboratório, sempre como a média de três ensaios. A caracterização física das areias foi realizada de acordo com o que indicam as normas internacionais da American Society of Testing. Materials (ASTM) e a Organização Nacional de Normalização e Certificação de Construção e Construção (ONNCCE) do México.

Uma vez feitos os traços, foi determinada a fluidez no estado fresco, e depois de endurecidas foram ensaiadas para obter as propriedades mecânicas como a Resistência à Compressão Uniaxial (UCS) considerando a resistência mínima de projeto de 75 kgf /cm<sup>2</sup> exigida pela norma NMX-C-486-ONNCCE-2014 (ONNCCE, 2014); outras características foram extraídas por meio de Ensaios Não Destrutivos (NDT), como a Resistividade Elétrica Úmida (WER) aos 7 e 28 dias de idade.

## 2.1 Estudo de traço

Todas as amostras de argamassa Tipo II, de acordo com a norma, foram preparadas em condições de laboratório com diferentes dosagens volumétricas de cimento hidráulico, cimento de alvenaria e cal e areia conforme tabela 1. Todas as misturas foram mantidas na faixa de trabalhabilidade 105-130% (ONNCCE, 2015b). Posteriormente, foram curados por imersão em água conforme indicado na norma ASTM C31-C31M-22 (ASTM 2022a), sendo a água obtida da rede pública do campus da UMSNH. Metade das argamassas (B1) foram preparadas com cimento hidráulico, cal e areia, moldando-se 6 corpos de prova para cada um dos 8 traços diferentes, obtendo-se 48 corpos de prova; enquanto a outra metade (B2) incorporou cimento hidráulico, cimento de alvenaria e areia, atingindo a mesma quantidade de 48 corpos de prova de (B1), para obter um total de 96 corpos de prova a serem ensaiados, primeiro obtendo WER de forma não destrutiva e depois de forma destrutiva até falha para obter UCS.

Tabela 1. Traços em volume.

ID	Cimento Hidráulico (Cimento Portland)	Cimento para Alvenaria (Cimento para Construção)	Cal	Areia
B1	1	-	½	2,25, 2,5, 2,75, 3, 3,25, 3,5, 3,75, 4
B2	1	1	-	2,25, 2,5, 2,75, 3, 3,25, 3,5, 3,75, 4

## 2.2 Caracterização e propriedades dos agregados miúdos

As areias foram extraídas de jazidas de materiais no estado de Michoacán, no México. O estado está localizado no Eixo Neovulcânico, onde há uma grande quantidade de rochas ígneas extrusivas e materiais de origem siliciosa, como agregados fluviais ou areias quartzosas. Os três agregados utilizados para a investigação são areias naturais não britadas. Primeiro, a margem “El Coro” (CH) do município de Zinapécuaro, próximo ao Lago Cuitzeo, na latitude 19,893889 e longitude -100,875833; depois, a margem “El Cuervo” (R), do rio Huajúbaro na depressão de Balsas, na latitude 19.626110 e longitude -100.636667; finalmente, o banco “Joyitas” (J), em Morelia, na latitude 19.727222 e longitude -101.385278. As três areias são mostradas na figura 1.



Figura 1. Areias: (a) Areia vulcânica Joyitas (J); (b) Areia siltosa de El Coro (CH); (c) Areia do rio El Cuervo (R). Fonte: (Durán, 2021; Durán, 2021; Mondragón, 2021).

As areias foram amostradas nas referidas jazidas e transportadas para o laboratório de materiais para análise. Primeiramente, foram secas e preparadas como amostras representativas (100 kg) para iniciar o processo de dimensionamento da argamassa. Os geomateriais não possuem o mesmo rigoroso controle de qualidade que o cimento possui, devido a sua origem natural; em vez disso, é comum que as argamassas sejam produzidas com base na experiência de usuários, artesãos e construtores. A Tabela 2 apresenta o conjunto de métodos de caracterização que foram aplicados às três areias utilizadas na pesquisa antes da confecção das argamassas (ASTM International, 2017, 2018, 2019b, 2022b; ONNCCE, 2004, 2006, 2020).

Tabela 2. Métodos de ensaio aplicados aos agregados de cada jazida de materiais

Método de ensaio	Norma	R areia de rio	CH areia siltosa	J areia vulcânica
Standard Practice for Sampling Aggregates (kg)	ASTM D75/D75M-19	100	100	100
Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM C128-22 NMX-C-165-ONNCCE	2.22	2.13	2.40
Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate (%)	ASTM C128-22 NMX-C-165-ONNCCE	7.02	5.92	4.75
Standard Test Method for Bulk Density and Voids in Aggregate (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM C29/C29M-17a NMX-C-073-ONNCCE	1.18	1.23	1.36
Standard Test Method for Bulk Density and Voids in Aggregate (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM C29/C29M-17a NMX-C-084-ONNCCE	1.28	1.36	1.42
Standard Specification for Concrete Aggregates	ASTM C33-C33M-18	3.51	2.98	3.87

\* Densidade e absorção foram separadas na tabela acima, mas correspondem aos mesmos padrões.

Foi calculada a densidade aparente das areias, com resultados muito semelhantes para as três (ASTM, 2017); por outro lado, CH apresentou um coeficiente de absorção maior que 7%, enquanto o de J foi de 4,75%, sendo este um aspecto relevante. Essa condição pode ter efeito direto nas propriedades da argamassa, aumentando a demanda de água e consequentemente diminuindo a resistência à compressão.

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas das diferentes areias, representando os limites inferior e superior de projeto (ASTM International, 2018), mostrando como R se adapta perfeitamente às curvas propostas; por outro lado, CH apresenta um excesso de material fino na faixa de aproximadamente 0,1 a 0,4 mm, enquanto J ultrapassa ligeiramente o limite inferior. Estas condições podem ter consequências nas propriedades das argamassas como a fluidez e a necessidade de água no estado fresco, como se pode ver mais adiante nas figuras 6 e 7.

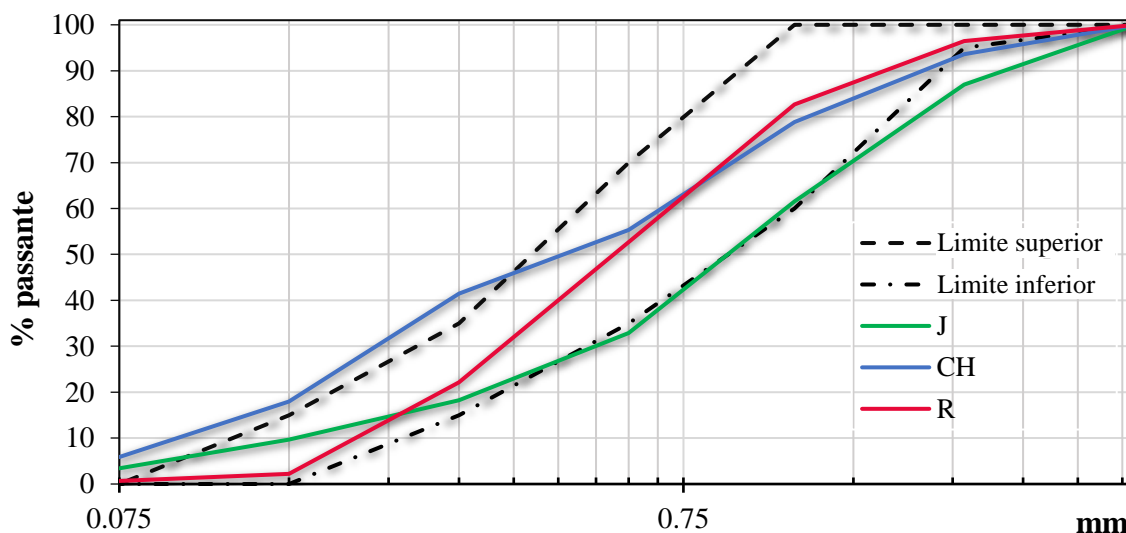


Figura 2. Curvas granulométricas dos agregados.

### 2.3 Métodos de ensaio aplicados a misturas de argamassa

A Tabela 3 apresenta o conjunto de métodos de ensaio e ensaios realizados para a caracterização das misturas de argamassa no estado fresco e endurecido. Ambas as normas internacionais e mexicanas (ASTM e ONNCCE) foram seguidas para analisar as duas combinações de misturas. Além disso, os três métodos de ensaio e seus procedimentos serão detalhados na seção a seguir (ASTM International, 2019a, 2020a, 2021; ONNCCE, 2014, 2015a, 2019).

Tabela 3. Métodos de ensaio aplicados a argamassas.

Métodos de ensaio	Norma	Condições
Tensão Compressiva Uniaxial (UCS)	ASTM C109/C109M-21 NMX-C-486-ONNCCE-2014	Cubos sólidos 5x5x5 cm <sup>3</sup>
Resistividade elétrica úmida (WER)	ASTM C1876-19 NMX-C-514-ONNCCE-2016	Cubos sólidos 5x5x5 cm <sup>3</sup>
Consistência de misturas e pastas para argamassa de cimento Portland	ASTM C305-20 NMX-C-061-ONNCCE-2015	Misturar em estado fresco

### 2.3.1. *Trabalhabilidade*

O ensaio de espalhamento (ver figura 3) permite determinar a trabalhabilidade da argamassa no estado fresco em função do teor de água utilizado, de acordo com a equação 1. O ensaio permite inferir a consistência da mistura, bem como a idoneidade da aplicação para cada técnica. Os limites de aceitação do ensaio variam entre 105-130%, que é o aumento do diâmetro da argamassa estendida em relação ao diâmetro original da argamassa ensaiada.

$$\text{Espalhamento (\%)} = \frac{\text{diâmetro estendido} - 25 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} \times 100 \quad (1)$$



Figura 3. Ensaio em misturas de argamassa: (a) Moldagem; (b) Consistência; (c) Aderência. Fonte: (Durán, 2021).

### 2.3.2. *Resistividade elétrica úmida (WER)*

O WER é um método alternativo para avaliar a homogeneidade de matrizes de concreto, permitindo obter informações relevantes sobre o desempenho do material sem comprometer fisicamente a estrutura, sendo um END. O ensaio foi realizado de acordo com as normas NMX-C-514-ONNCCE e ASTM C1876-19 (ver figura 4). O procedimento é baseado na Lei de Ohm, que indica que a resistividade elétrica é recíproca da condutividade, sendo uma propriedade volumétrica dos materiais que indica resistência à passagem de corrente elétrica. WER é representado pela equação 2, onde R é a resistividade elétrica em kΩ -cm, l é o comprimento do corpo de prova em cm e A é a área em cm<sup>2</sup>.

$$R = \frac{V}{I} = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$



Figura 4. Equipamento de resistividade elétrica Nillson 400.

### 2.3.3. *Resistência à Compressão Uniaxial (UCS)*

O objetivo deste ensaio é determinar a resistência à compressão uniaxial de amostras cúbicas de 50 mm (ver figura 5) de acordo com as normas NMX-C-486-ONNCCE e ASTM C109/C109M-21. O UCS é obtido pela equação 3, onde W é a carga máxima em kgf suportada pelo cubo, e A é a área de contato em cm<sup>2</sup> do corpo de prova.



$$UCS = \frac{W}{A} \quad (3)$$



Figura 5. Máquina de Ensaio Universal, Resistência à Compressão Uniaxial (UCS).

### 3. RESULTADOS

A pesquisa analisou as propriedades de três jazidas de areia em misturas de argamassa e suas diferentes proporções. A Figura 6 mostra a comparação entre a espalhamento das misturas com os três agregados e a relação volumétrica entre teor de água/material cimentante aplicado em cada um dos corpos de prova de argamassa B1. Como pode ser visto, CH e J usaram a mesma quantidade de água (as curvas se sobrepõem), enquanto R precisou de uma quantidade menor, coincidindo com (Hu, 2005). Por outro lado, a figura 7 mostra os resultados para argamassas classe B2; neste caso, cada uma das areias exigiu uma dosagem diferente de água e até a proporção 3,25 a quantidade de água requerida por R também foi a menor, correspondendo a (Durán Ramos, 2021; Ren et al., 2021). Conforme mencionado anteriormente, os limites de espalhamento devem estar na faixa entre 105 e 130%, com todas as amostras atendendo a esse requisito. Para ambas as classes de argamassas, verificou-se que quanto maior a proporção de areia, maior a relação água/material cimentício, concordando com a pesquisa de (Giordani & Masuero, 2019).

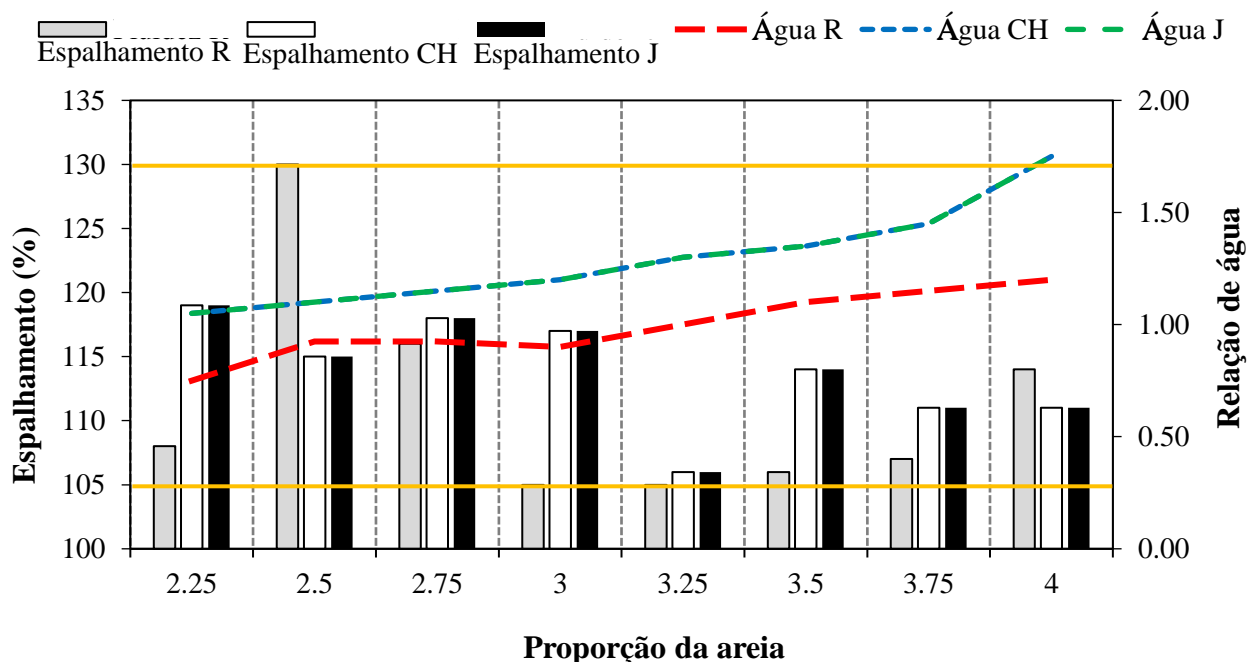


Figura 6. Espalhamento e relação volumétrica água/agentes cimentantes de argamassas B1 (cimento hidráulico: cal: areia).

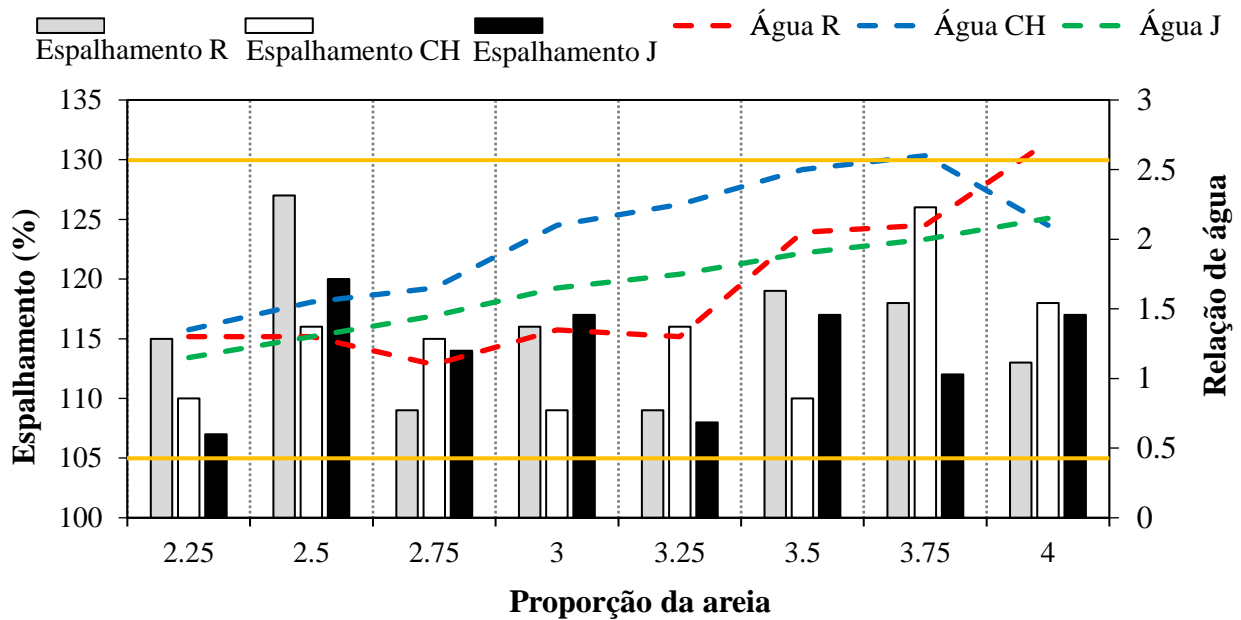


Figura 7. Espalhamento e relação volumétrica água/agentes cimentantes de argamassas B2 (cimento hidráulico: cimento de alvenaria: areia).

As Figuras 8 e 9 representam os resultados do ensaio WER aos 7 e 28 dias de idade para as amostras B1 e B2, respectivamente; pode-se verificar o desempenho das três areias e como se comportaram com as diferentes misturas de argamassa. O limite mínimo sugerido pela norma NMX-C-514-ONNCCE-2019 é de 10 kΩ -cm, para misturas de concreto; um valor menor poderia resultar em porosidade excessiva, como ocorreu em todos os casos analisados. Tanto para as argamassas B1 quanto para as B2, as misturas com a areia CH foram as que apresentaram maior resistividade elétrica, destacando-se a maior resistividade nas misturas B2.

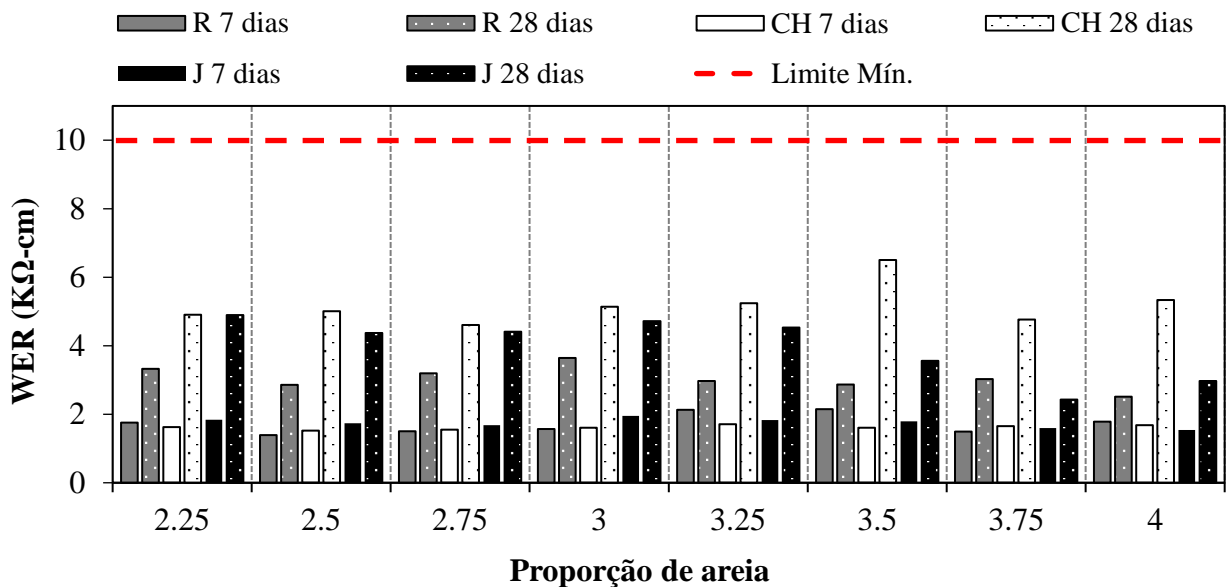


Figura 8. Resistividade elétrica úmida (WER) de argamassas B1 (cimento hidráulico: cal: areia) em função da proporção de areia.

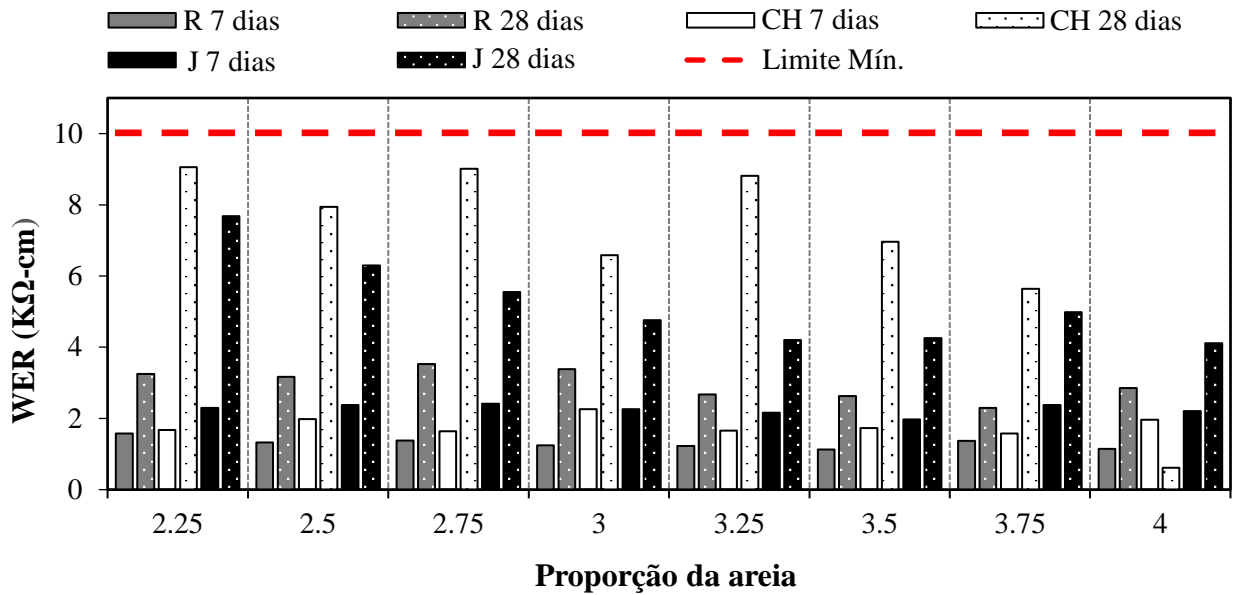


Figura 9. Resistividade elétrica úmida (WER) de argamassas B2 (cimento hidráulico: cimento de alvenaria: areia) em função da proporção de areia.

As Figuras 10 e 11 mostram o UCS aos 7 e 28 dias de idade das argamassas B1 e B2 respectivamente, dependendo das proporções volumétricas utilizadas (de 2,25 a 4). A resistência mínima de projeto conforme N-CMT-2-01-004/02 é  $UCS = 75 \text{ kgf/cm}^2$  (7,5 MPa), considerando o uso e aplicações dessas argamassas.

Como se esperava, as argamassas aumentam a sua resistência com uma idade mais avançada, sendo que as amostras aos 28 dias apresentaram os maiores valores de resistência estudados. De maneira geral, as proporções volumétricas de 2,25 a 3 (areia/soma de agentes cimentantes) foram as que melhor funcionaram, pois para B1 para valores maiores que 3,25 nenhuma das misturas atendeu a resistência mínima exigida de  $75 \text{ kgf/cm}^2$ . Podemos observar como as argamassas B1 tiveram melhor desempenho, com maior número de corpos de prova atingindo a resistência mínima, conforme relatado por (Souza et al., 2020; Beng Wei et al., 2021; HAMMAT et al., 2021). Para as argamassas B1 o melhor agregado foi o R, enquanto para as argamassas B2 foi o J.

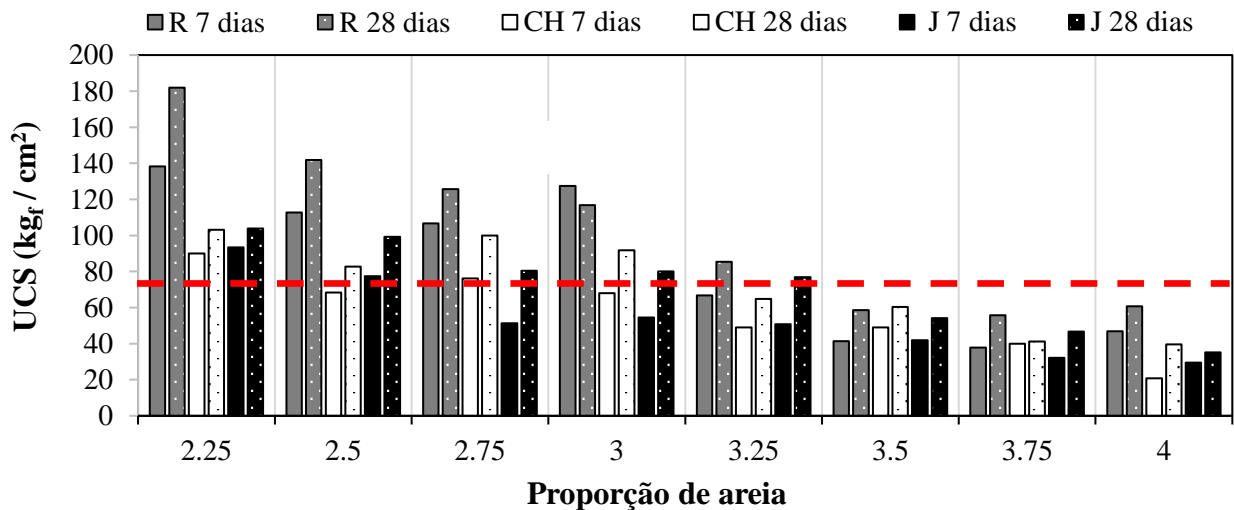


Figura 10. Resistência à compressão das argamassas B1 em função da relação volumétrica areia/materiais cimentícios.

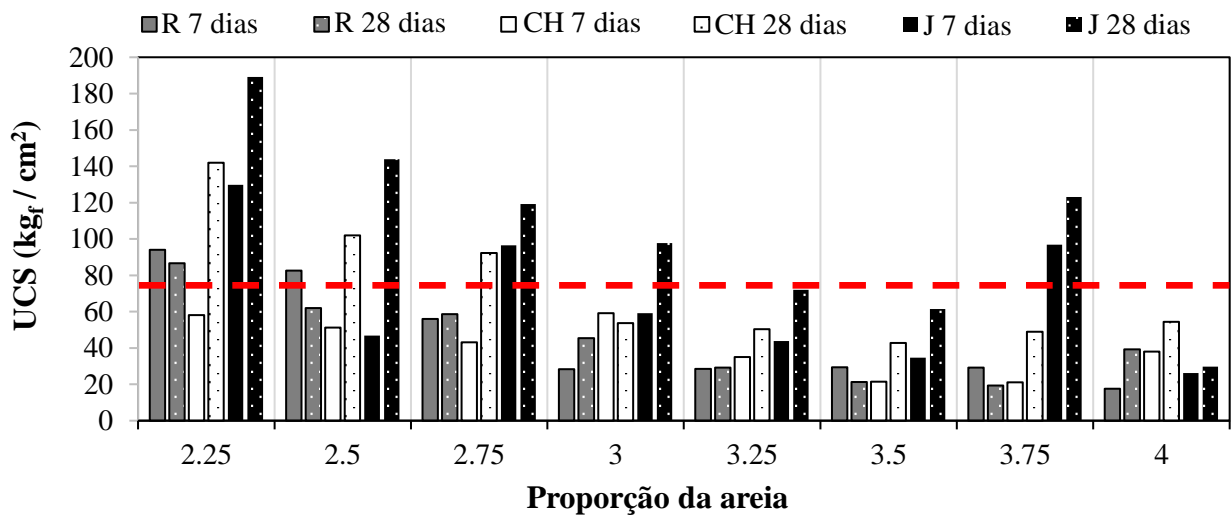


Figura 11. Resistência à compressão de argamassas B2 em função da proporção volumétrica areia/materiais cimentícios.

A Figura 12 mostra a correlação entre os resultados de UCS e WER aos 28 dias de idade para todas as argamassas projetadas. O agregado J é o que obteve o melhor coeficiente de correlação  $R^2 = 0,87$  para argamassas classe B2 e  $R^2 = 0,82$  para argamassas classe B1. Essa grande correlação entre os métodos de ensaio pode estar ligada à baixa absorção e alta densidade do material, além de sua distribuição correta mostrada na curva granulométrica conforme especificado pela norma ASTM C-91. Por outro lado, R e CH apresentaram a menor correlação, principalmente a última. Essas argamassas apresentaram maior absorção e maior quantidade de material fino na análise granulométrica, o que aumenta a demanda de água e consequentemente a relação água/material cimentício, conforme relatado por (Haach et al., 2011).

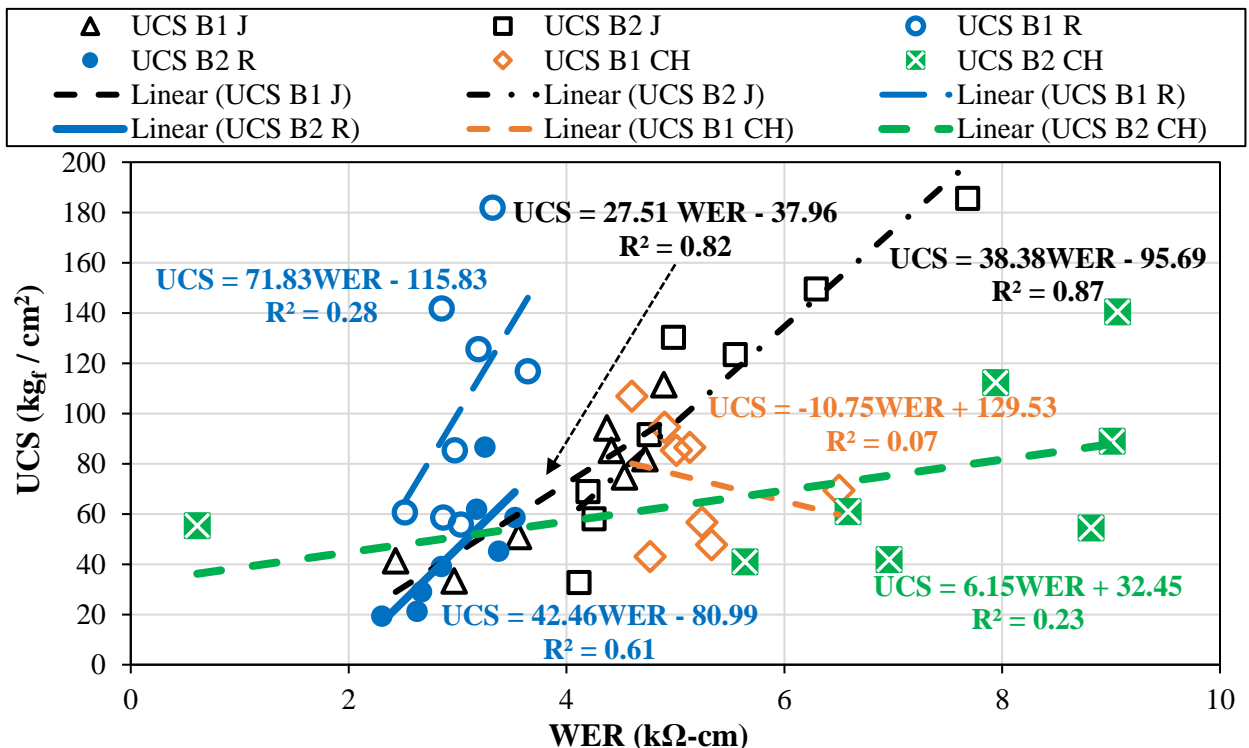


Figura 12. Correlação entre UCS e WER aos 28 dias de idade.

## 4. DISCUSSÃO

A jazida Joyitas (J) tem sido historicamente a mais explorada e procurada por artesãos e construtores da região próxima a Morelia, em Michoacán. Essa areia vulcânica escura, de origem andesítica segundo as análises granulométricas, apresenta maior quantidade de material fino e um leve excesso de grãos grossos que ficam retidos nas malhas ASTM 16 e 30, gerando melhor comportamento mecânico em relação aos outras duas jazidas. Além disso, J apresentou maiores valores de densidade e menor absorção de água, justificando a escolha dos usuários da região.

O processo de caracterização permitiu avaliar as três diferentes areias e determinar como se comportam para cada tipo de argamassa (B1 e B2) e em que proporções se obtêm os melhores resultados. É importante entender que, além de atender aos requisitos mínimos de projeto, cada mistura pode ser útil em condições específicas. A resistividade elétrica é um novo NDT para avaliar a durabilidade de concretos e argamassas, além de inferir a porosidade, enquanto todas essas informações podem ser correlacionadas com a análise granulométrica e granulometria das areias estudadas. Sob esta hipótese, a areia CH apresentou os maiores valores de resistividade elétrica, ao mesmo tempo em que relatou quantidades consideráveis de finos retidos nas malhas ASTM 100 e 200, e estes atuam como cargas/preenchedores de poros, selando a porosidade das misturas e dificultando a permeabilidade de íons despassivantes que poderiam reduzir a durabilidade de estruturas mistas de concreto armado/argamassa, contribuindo para o que foi relatado por (Giordani & Masuero, 2019; Haach et al., 2011; Durán Ramos, 2021; Ren et al., 2021).

As menores proporções de areia alcançaram o melhor comportamento mecânico, atendendo corretamente aos valores de projeto para espalhamento. Em relação à resistividade elétrica, todos os valores encontrados foram abaixo de 10 k $\Omega$ -cm de acordo com a NMX-C-514-2019, embora este parâmetro seja para misturas de concreto, pois as argamassas foram projetadas com altos valores de água/material cimentício, conforme pode ser observado nas figuras 8 e 9, devido à necessidade de se ter um espalhamento necessário para a correta trabalhabilidade das argamassas em obra, lembrando que seus benefícios devem estar voltados para uma boa aderência com a alvenaria, seja como adesivo ou como revestimento. Adicionalmente, constatou-se que a proporção de areia tem correlação direta com a demanda de água, resultando em aumento da relação água/material cimentício. Portanto, as melhores e mais adequadas argamassas são aquelas com baixas proporções de areia independente de sua tipologia e produtos cimentícios, de acordo com (Hafid et al., 2016; Stolz & Masuero, 2018). É interessante verificar como as argamassas B1 obtiveram desempenho satisfatório para todos os métodos de ensaio, tendo em vista que foram feitas com cal, material que tem sido relatado como de baixa resistência (Souza et al., 2020) e regularmente substituído por cimento hidráulico ou cimento Portland. Apesar do seu comportamento mecânico ser inferior, as misturas B1 requerem geralmente menos água do que as misturas B2, ao mesmo tempo que atingem os mesmos requisitos de espalhamento, sendo este um aspecto a considerar.

A técnica WER tem se mostrado muito útil para a caracterização de materiais e componentes e avaliação de sua durabilidade. Os excelentes coeficientes de correlação  $R^2$  de J mostram como a densidade, a resistividade elétrica e a resistência mecânica se correlacionam em alto grau. O coeficiente entre UCS e WER está fortemente ligado à absorção e densidade dos agregados miúdos; quando essas duas variáveis aumentam, o coeficiente varia fortemente, com importante dispersão dos dados. Por esta razão, é essencial combinar NDT com ensaios de resistência mecânica para ter uma melhor compreensão dos materiais de construção.

De acordo com a normatização, o MF para a areia utilizada em argamassas de construção está entre a faixa de 1,6 a 2,5 (do mais fino ao mais grosso). As três areias estudadas cumprem este parâmetro. De acordo com a granulometria, a areia de El Coro (CH) apresenta o menor Módulo de Finura das três areias estudadas, com valor de 2,06, apresentando também um leve excesso de finos, conforme

Figura 2, o que pode influenciar se estes se comportam como fíler, obstruindo a porosidade e, portanto, aumentando a resistividade nas misturas B1 e B2, impactando assim em uma maior durabilidade desta argamassa aos 28 dias, acentuando esse comportamento nas misturas B2.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que nas argamassas estudadas a quantidade de água utilizada aumenta à medida que aumenta o consumo de materiais cimentícios e agregados miúdos, conforme esperado. Em ambas as misturas B1 (cimento hidráulico: cal: areia) e B2 (cimento hidráulico: cimento para alvenaria: areia), ao reduzir a relação volumétrica areia/material cimentício, a resistência à compressão do UCS aumentou, assim como o espalhamento obtido permaneceu na faixa de 105 a 130%; no mesmo sentido, o consumo de água/material cimentício A/MC, em volume, aumentou proporcionalmente na faixa de 1,10 a 1,80 para as misturas B1 e de 1,10 a 2,60 para as misturas B2, com menor demanda de água nas misturas com cal do que com cimento de alvenaria, especialmente em proporções maiores de areia. Em relação à resistividade elétrica do WER, nas primeiras idades de 7 dias, ambas as misturas B1 e B2 tiveram comportamento semelhante, com leve aumento de J em relação a CH e R; aos 28 dias CH se destaca, principalmente nos traços B2, com a relação areia/material cimentício de 2,25 valor próximo a 10 kΩ -cm, que é a REA mínima necessária para que se tenha traços de concreto hidráulico a serem considerados com velocidade de corrosão moderada. Neste caso do estudo de argamassas, havendo valores elevados de relação água/material cimentício, devido ao necessário espalhamento destas misturas nas obras, o referido valor não foi atingido. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam a necessidade de se estudar e caracterizar adequadamente os materiais utilizados na construção, principalmente os compósitos como as argamassas de alvenaria, pois o uso inadequado de agregados e agentes cimentantes pode afetar muito a capacidade resistente dessas argamassas. Esses resultados aumentam o conhecimento técnico-científico das argamassas de alvenaria, o que permite aos construtores tomar decisões acertadas com base em estudos formais.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Coordinación de la Investigación Científica, CIC, da Universidade Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH); bem como financiamento do Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por meio do projeto PRONACE 321260: Desenvolvimento de um modelo de produção social replicável para habitação e habitat e Projeto CF-2023-G-985, Concreto e argamassa biodegradável e compostos poluentes presentes na atmosfera, para sua aplicação em moradias de interesse social, em cidades mexicanas de médio porte; o programa SEP- Prodep; e ainda o apoio técnico do laboratório "Eng. Luis Silva Ruelas" da Faculdade de Engenharia Civil da UMSNH. Finalmente, agradece-se o apoio do engenheiro civil Saúl Mondragón Martínez por sua colaboração nos ensaios de laboratório.

## 7. REFERÊNCIAS

- Álvarez Galindo, J. I., Martín Pérez, A., García Casado, P. J. (1995). *Historia de los morteros*. Revista PH, 13, 52. <https://doi.org/10.33349/1995.13.263>
- ASTM International. (2017). *ASTM C29/C29M 17a. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. ASTM International.
- ASTM International. (2018). *ASTM C33-C33M-18. Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International. [https://doi.org/10.1520/C0033\\_C0033M-18](https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-18)

- ASTM International. (2019a). *ASTM C1876-19. Standard Test Method for Bulk Electrical Resistivity or Bulk Conductivity of Concrete*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C1876-19>
- ASTM International. (2019b). *ASTM D75/D75M-19. Standard Practice for Sampling Aggregates*. ASTM International.
- ASTM International. (2020a). *ASTM C305-20. Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0305-20>
- ASTM International. (2020b). *ASTM E1266-20. Standard Practice for Processing Mixtures of Lime, Fly Ash, and Heavy Metal Wastes in Structural Fills and Other Construction Applications*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E1266-20>
- ASTM International. (2021). *ASTM C109/C109M-21. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens)*. ASTM International. [https://doi.org/10.1520/C0109\\_C0109M-21](https://doi.org/10.1520/C0109_C0109M-21)
- ASTM International. (2022a). *ASTM C31/C31M-22. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. ASTM International. [https://doi.org/10.1520/C0031\\_C0031M-22](https://doi.org/10.1520/C0031_C0031M-22)
- ASTM International. (2022b). *ASTM C128-22. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. ASTM International.
- ASTM International. (2022c). *ASTM C150-C150M-22. Standard Specification for Portland Cement*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0150-07>
- Beng Wei, C., Othman, R., Yee Ying, C., Putra Jaya, R., Shu Ing, D., Ali Mangi, S. (2021). *Properties of mortar with fine eggshell powder as partial cement replacement*. *Materials Today: Proceedings*, 46, 1574–1581. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.240>
- Brazão Farinha, C., de Brito, J., Veiga, R. (2021). *Incorporation of high contents of textile, acrylic and glass waste fibres in cement-based mortars. Influence on mortars' fresh, mechanical and deformability behaviour*. *Construction and Building Materials*, 303, 124424. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124424>
- Danish, A., Ozbakkaloglu, T. (2023). *Impact of nano-silica on the mechanical properties of mortar containing e-waste plastic as fine aggregates*. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.182>
- Durán Ramos, A. M. (2021). *Diseño de mezclas plásticas aglomerantes y su consideración de proporcionamiento por medio del ensayo de fluidez (Bachelor's Degree Thesis)*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Gao, X., Yao, X., Xie, R., Li, X., Cheng, J., Yang, T. (2022). *Performance of fly ash-based geopolymer mortars with waste cathode ray tubes glass fine aggregate: A comparative study with cement mortars*. *Construction and Building Materials*, 344, 128243. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128243>
- Giordani, C., Masuero, A. B. (2019). *Blended mortars: Influence of the constituents and proportioning in the fresh state*. *Construction and Building Materials*, 210, 574–587. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.077>
- Haach, V. G., Vasconcelos, G., Lourenço, P. B. (2011). *Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars*. *Construction and Building Materials*, 25(6), 2980–2987. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.011>
- Hafid, H., Ovarlez, G., Toussaint, F., Jezequel, P. H., Roussel, N. (2016). *Effect of particle morphological parameters on sand grains packing properties and rheology of model mortars*. *Cement and Concrete Research*, 80, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.11.002>

- Hammat, S., Menadi, B., Kenai, S., Thomas, C., Kirgiz, M. S., Sousa Galdino, A. G. de. (2021). *The effect of content and fineness of natural pozzolana on the rheological, mechanical, and durability properties of self-compacting mortar*. Journal of Building Engineering, 44, 103276. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103276>
- Hu, J. (2005). *A study of effects of aggregate on concrete rheology* [Iowa State University, Digital Repository]. <https://doi.org/10.31274/rtd-180813-15380>
- Jacques, K. T. J., Zengyao, W., Shoude, W., Shifeng, H., Xin, C. (2023). *The influence of different fine aggregate and cooling regimes on the engineering properties of sulphoaluminate cement mortar after heating*. Case Studies in Construction Materials, 18, e01866. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01866>
- Li, T., Nogueira, R., de Brito, J., & Liu, J. (2023). *Underlying mechanisms of the influence of fine aggregates' content and properties on mortar's plastic viscosity*. Journal of Building Engineering, 67, 106016. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106016>
- Li, T., Zhou, Y., Zhu, J., Liu, J. (2022). *Effect of fine aggregate gradation on the rheology of mortar*. Construction and Building Materials, 332, 127362. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127362>
- Martinez-Molina, W., Chavez-Garcia, H. L., Perez-Lopez, T., Alonso-Guzman, E. M., Arreola-Sanchez, M., Navarrete-Seras, M. A., Borrego-Perez, J. A., Sanchez-Calvillo, A., Guzman-Torres, J. A., Perez-Quiroz, J. T. (2021). *Effect of the Addition of Agribusiness and Industrial Wastes as a Partial Substitution of Portland Cement for the Carbonation of Mortars*. Materials, 14(23), 7276. <https://doi.org/10.3390/ma14237276>
- Navarro-Mendoza, E. G., Alonso-Guzman, E. M., Ruvalcaba-Sil, J. L., Sánchez-Calvillo, A., Martínez-Molina, W., García, H. L. C., Bedolla-Arroyo, J. A., Becerra-Santacruz, H., Borrego-Pérez, J. A. (2020). *Compressive strength and ultrasonic pulse velocity of mortars and pastes, elaborated with slaked lime and high purity hydrated lime, for restoration works in Mexico*. In Key Engineering Materials: Vol. 862 KEM. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.862.51>
- Navarro-Mendoza, E. G., Alonso-Guzman, E. M., Sanchez-Calvillo, A., Bedolla-Arroyo, J. A., Becerra-Santacruz, H., Navarro-Ezquerria, A., Gonzalez-Sanchez, B., Martinez-Molina, W. (2023). *Physical and Mechanical Characterization of Lime Pastes and Mortars for Use in Restoration*. Heritage, 6(3), 2582–2600. <https://doi.org/10.3390/heritage6030136>
- ONNCCE. (2004). *NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la construcción - Agregados - Masa volumétrica. Método de prueba*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- ONNCCE. (2006). *NMX-C-084-ONNCCE-2006. Industria de la construcción - Agregados para Concreto - Partículas más Finas que la Criba 0,075 mm (No. 200) por Medio de Lavado – Método de Prueba*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- ONNCCE. (2014). *NMX-C-486-ONNCCE-2014. Industria de la construcción-Mampostería - Mortero para uso estructural- especificaciones y métodos de ensayo*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación.
- ONNCCE. (2015a). *NMX-C-061-ONNCCE-2015. Building Industry – Hydraulic Cements – Determination of Compressive Strength of Hydraulic Cements*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- ONNCCE. (2015b). *NMX-C-144-ONNCCE-2015. Building Industry - Hydraulic Cement - Specifications for the Apparatus used in the Flow Test for Mortars made of Hydraulic Cements*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- ONNCCE. (2019). *NMX-C-514-ONNCCE-2019. Building Industry – Electrical Resistivity of Hydraulic Concrete - Specifications and Testing Methods*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.



- ONNCCE. (2020). *NMX-C-165-ONNCCE-2020. Industria de la construcción - Agregados para concreto - Determinación de la reactividad potencial*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- ONNCCE. (2002). *N-CMT-2-01-004/02. Characteristics of Materials. Materials For Structures. Materials For Hydraulic Concrete*. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- Ren, Q., Tao, Y., Jiao, D., Jiang, Z., Ye, G., De Schutter, G. (2021). *Plastic viscosity of cement mortar with manufactured sand as influenced by geometric features and particle size*. *Cement and Concrete Composites*, 122, 104163. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104163>
- Ribeiro, D. V., Oliveira Rey, R. (2019). *Avaliação dos agregados utilizados na região metropolitana de Salvador quanto à ocorrência de Reatividade Alcalis-Agregado (RAA)*. *Revista ALCONPAT*, 9(2), 185–199. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i2.326>
- Sánchez Tizapa, S., Villaseñor Franco, A., Guinto Herrera, E., Barragán Trinidad, R., Mebarki, A. (2017). *Propuesta de valores de referencia para la resistencia de diseño a compresión diagonal y compresión de la mampostería en el estado de Guerrero, México*. *Revista ALCONPAT*, 7(3), 231–246. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.159>
- Senff, L., Barbeta, P. A., Repette, W. L., Hotza, D., Paiva, H., Ferreira, V. M., Labrincha, J. A. (2009). *Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments*. *Construction and Building Materials*, 23(10), 3107–3111. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.028>
- Souza, A. T., Barbosa, T. F., Riccio, L. A., Santos, W. J. dos. (2020). *Effect of limestone powder substitution on mechanical properties and durability of slender precast components of structural mortar*. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1), 847–856. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.024>
- Stolz, C. M., Masuero, A. B. (2018). *Influence of grain distribution on the rheological behavior of mortars*. *Construction and Building Materials*, 177, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.131>
- Tena, A., Liga, A., Pérez, A., González, F. (2017). *Proposal for improved mixes to produce concrete masonry units with commonly used aggregates available in the Valley of Mexico*. *Revista ALCONPAT*, 7(1), 36–56. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i1.170>
- Ullah, Z., Qureshi, M. I., Ahmad, A., Khan, S. U., Javaid, M. F. (2021). *An experimental study on the mechanical and durability properties assessment of E-waste concrete*. *Journal of Building Engineering*, 38, 102177. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102177>
- Westerholm, M., Lagerblad, B., Silfwerbrand, J., Forssberg, E. (2008). *Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars*. *Cement and Concrete Composites*, 30(4), 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.08.008>
- Wu, M., Zhao, Q., Shen, W., Zhao, J., Xu, G., Zhao, D., Xiong, X. (2021). *Mix design of self-leveling mortar prepared by crushed sand with high flowability and early strengthening*. *Construction and Building Materials*, 283, 122679. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122679>