REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ESTUDO DAS INTERAÇÕES ENTRE OS COMPONENTES DE ARGAMASSAS AUTONIVELANTES POR MEIO DO MÉTODO TAGUCHI

STUDY OF INTERACTIONS BETWEEN THE COMPONENTS OF SELF-LEVELING MORTARS USING THE TAGUCHI METHOD

ESTUDIO DE LAS INTERACCIONES ENTRE LOS COMPONENTES DE MORTEROS AUTONIVELANTES MEDIANTE EL MÉTODO TAGUCHI

Fabiola Luana Maia Rocha[1], Aline Figueirêdo da Nóbrega[2], Vinicius Silva Vieira[1], Leticia Melo Souza[1], Diego Paiva Bezerra[1], José Anselmo Silva Neto[1]

e747237
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i4.7237

PUBLICADO: 04/2026

RESUMO

A busca por soluções eficientes na construção civil tem propiciado uso crescente das argamassas autonivelantes (AAN), que se destacam por sua fluidez e trabalhabilidade. No entanto, ainda não existem especificações normativas para sua dosagem, e a AAN exige alto consumo de materiais finos, especialmente o Cimento Portland, além de grande variabilidade na quantidade de aditivos. Assim, este estudo visa otimizar a dosagem de AAN utilizando o método Taguchi, para analisar as interações entre os componentes e melhorar suas propriedades reológicas, minimizando a quantidade de ensaios e materiais, favorecendo a sustentabilidade. Cinco variáveis independentes foram avaliadas: cimento, fíler calcário, areia, água e aditivo superplastificante, com o espalhamento como variável dependente. Os resultados indicaram que a fluidez é fortemente influenciada pelo aditivo superplastificante, seguido pela água e fíler calcário, enquanto cimento e areia tiveram efeitos mais sutis. Ademais, o estudo fornece diretrizes para uma dosagem eficiente, com menor consumo de Cimento Portland.

PALAVRAS-CHAVE: Dosagem otimizada. Planejamento experimental. Otimização de misturas. Sustentabilidade. Dosagem de argamassa autonivelante.

ABSTRACT

The search for efficient solutions in the construction industry has led to the growing use of self-leveling mortars (SLM), which stand out for their fluidity and workability. However, there are no established standards for their dosage, and SLM requires high consumption of fine materials, particularly Portland cement, along with considerable variability in the dosage of additives. This study aims to optimize the dosage of SLM using the Taguchi method to analyze the interactions between components and improve their rheological properties, while minimizing the number of trials and materials, thus promoting sustainability. Five independent variables were evaluated: cement, limestone filler, sand, water, and superplasticizer, with spreadability as the dependent variable. The results indicated that fluidity is strongly influenced by the superplasticizer, followed by water and limestone filler, while cement and sand had more subtle effects. Moreover, the study provides guidelines for efficient dosage, with reduced consumption of Portland cement.

KEYWORDS: *Optimized dosage. Experimental planning. Mixture optimization. Sustainability. Dosage of self-leveling mortars.*

[1] Universidade Federal da Paraíba UFPB. João Pessoa-PB, Brasil.
[2] Universidade Federal de Campina Grande UFCG. Campina Grande-PB, Brazil.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

RESUMEN
La búsqueda de soluciones eficientes en la construcción civil ha llevado al creciente uso de morteros autonivelantes (MAL), que destacan por su fluidez y trabajabilidad. Sin embargo, aún no existen especificaciones normativas para su dosificación, y los MAL requieren un alto consumo de materiales finos, especialmente cemento Portland, además de una gran variabilidad en la cantidad de aditivos. Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo optimizar la dosificación de MAL mediante el método Taguchi, para analizar las interacciones entre los componentes y mejorar sus propiedades reológicas, minimizando el número de ensayos y materiales, favoreciendo la sostenibilidad. Se evaluaron cinco variables independientes: cemento, filler de piedra caliza, arena, agua y aditivo superplastificante, siendo la esparcibilidad la variable dependiente. Los resultados indicaron que la fluidez está fuertemente influenciada por el aditivo superplastificante, seguido por el agua y el filler de piedra caliza, mientras que el cemento y la arena tuvieron efectos más sutiles. Además, el estudio proporciona pautas para una dosificación eficiente con un menor consumo de cemento Portland.

PALABRAS CLAVE*: Dosificación optimizada. Diseño experimental. Optimización de mesclas. Sostenibilidad. Dosificación de mortero autonivelante.*

1. INTRODUÇÃO

A construção civil contemporânea demanda soluções tecnológicas que integrem desempenho técnico, precisão executiva e sustentabilidade aos processos construtivos. Nesse contexto, as argamassas autonivelantes destacam-se por seu elevado desempenho reológico e por seu potencial de racionalização das etapas de execução. De modo geral, as argamassas apresentam amplo emprego na construção civil, uma vez que, a partir das diferentes composições, proporções de seus constituintes e métodos de preparo, obtêm-se materiais com propriedades distintas e adequadas a diversas aplicações (Bauer, 2025).

A argamassa autonivelante, por sua vez, é considerada um material relativamente inovador (Chuang *et al.,* 2025), caracterizado pela elevada fluidez e capacidade de espalhamento sem necessidade de adensamento mecânico intenso. O espalhamento constitui um dos principais indicadores da adequação da mistura à aplicação em obra, pois está diretamente relacionado à capacidade de nivelamento, preenchimento e regularidade superficial.

Do ponto de vista executivo, esse comportamento favorece a uniformização das superfícies, reduz falhas de aplicação e contribui para a diminuição de retrabalhos. Como consequência, há potencial de redução do tempo de execução, do desperdício de insumos e da geração de resíduos no canteiro, ampliando a relevância prática das argamassas autonivelantes no contexto da construção sustentável.

Sob a perspectiva da sustentabilidade, o uso de argamassas autonivelantes pode representar importante estratégia de racionalização construtiva. A elevada fluidez e homogeneidade do material reduzem perdas por aplicação inadequada e favorecem melhor aproveitamento dos insumos. Além disso, a otimização do traço e a incorporação de adições minerais podem contribuir

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

para a redução do consumo de cimento Portland, um dos maiores emissores de CO_2 associados aos materiais do setor da construção, em razão da elevada intensidade energética de seu processo produtivo. Nesse cenário, racionalizar o consumo de cimento sem comprometer o desempenho torna-se medida central para alinhar eficiência técnica e responsabilidade ambiental.

Embora existam normas gerais para argamassas e métodos de ensaio que podem ser adaptados à avaliação das argamassas autonivelantes, ainda não há uma normalização específica e consolidada que contemple plenamente o comportamento reológico e os critérios de dosagem desse tipo de material. Essa lacuna reforça a necessidade de estudos que sistematizem parâmetros de desempenho, especialmente no que se refere ao espalhamento e à estabilidade da mistura.

Nesse contexto, observa-se que a literatura ainda discute de forma limitada o efeito combinado entre cimento e adições minerais sobre o comportamento reológico e a produção de argamassas autonivelantes (Alves *et al.,* 2024). Para contribuir com essa discussão, o presente trabalho adota o planejamento Taguchi, método estatístico amplamente empregado na otimização de múltiplos fatores com número reduzido de ensaios.

Conforme Chen *et al.,* (2017), o método de Taguchi é empregado na concepção de protocolos experimentais com ênfase na análise da influência e da interação entre variáveis, permitindo a otimização de parâmetros de processo em diferentes áreas. Trata-se de uma abordagem eficiente para obtenção de combinações experimentais representativas com menor custo e menor consumo de materiais (Ryan, 2005; Khalaj *et al.,* 2014; Suji *et al.,* 2021).

Entretanto, em sistemas cimentícios com respostas potencialmente não lineares, a interpretação dos resultados do método deve ser feita com cautela, pois matrizes ortogonais e efeitos principais nem sempre capturam integralmente interações complexas ou regiões de transição entre faixas de dosagem. Por isso, além da análise estatística, este estudo complementa a interpretação com regressão, correlações e novo planejamento experimental, buscando maior robustez na leitura dos efeitos observados.

Assim, o estudo concentra-se na otimização das proporções dos componentes das argamassas autonivelantes com base na análise do espalhamento, parâmetro representativo da eficiência reológica do material. Para isso, foram realizados dois planejamentos experimentais: o primeiro, com 18 amostras, avaliou a influência individual e combinada de cinco fatores principais da mistura (cimento, fíler calcário, areia, água e aditivo superplastificante); o segundo, com 32 amostras, validou as combinações em faixas compatíveis com o desempenho observado no ensaio de mini-slump.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

2. MÉTODOS

2.1. Materiais

A composição das argamassas autonivelantes analisadas possui os seguintes materiais: cimento Portland CP-V, fíler calcário, areia, aditivo superplastificante e água. A escolha do CP-V deve-se à sua elevada reatividade inicial e à menor interferência de adições previamente incorporadas ao ligante, característica que favorece a análise mais direta do efeito do fíler calcário e do aditivo superplastificante sobre o comportamento reológico da mistura. No tocante à caracterização, evidencia-se a composição química desses materiais apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química por fluorescência de raios X dos materiais utilizados

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SrO	MnO	ZnO	ZrO_2	Perda ao fogo (%)
CP-V	9.732	1.941	3.228	69.097	0	5.317	1.549	1.916	0.262	1.916	0.083	0.031	0.022	6,80
Fíler Calcário	0,552	-	0,198	52.328	8.898	0.766	0.15	-	-	0,028	-	-	-	37,08

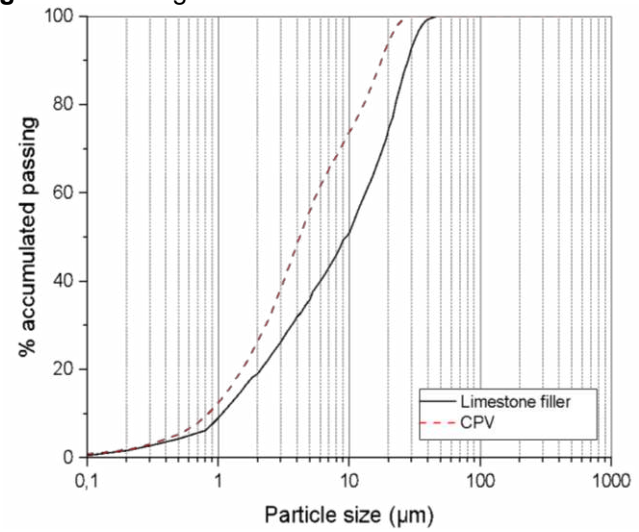
O cimento Portland CP-V possui alta concentração de CaO (69,097%), fundamental para sua resistência, além de SiO_2 (9,732%) e Fe_2O_3 (3,228%), que contribuem para a formação de ligações químicas. Sua perda ao fogo é de 6,80%, indicando a quantidade de água e materiais voláteis presentes. Paralelamente, o fíler calcário tem CaO (52,328%), MgO (8,898%) e SO_3 (0,766%), com perda ao fogo de 37,08%, refletindo características minerais que influenciam a fluidez da mistura.

Ademais, analisou-se ainda a granulometria do fíler calcário e do CP-V, cujos resultados são evidenciados na Figura 1, a seguir:

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

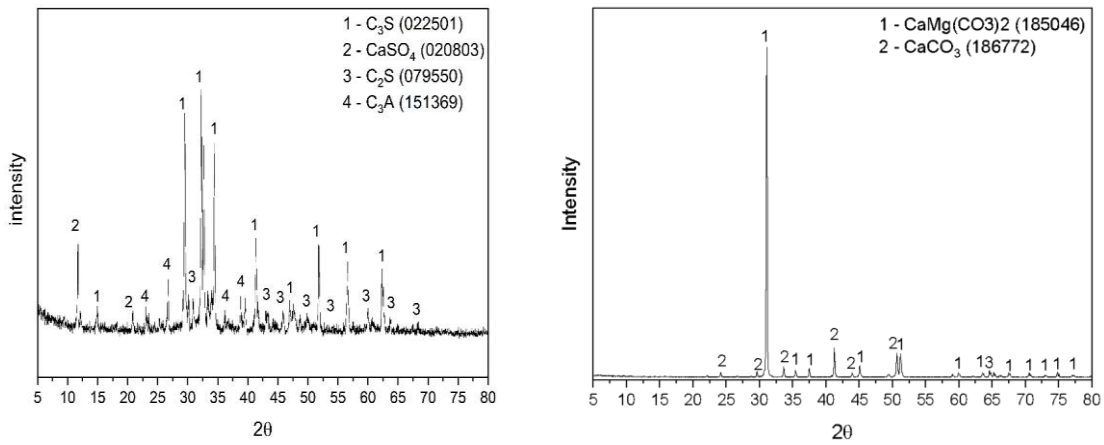
REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 1. Curva granulométrica do fíler calcário e do CP-V



Conforme resultados evidenciados, percebe-se que o fíler calcário e o CP-V possuem granulometria similar, sendo caracterizados como materiais finos. Ademais, de forma mais específica, analisou-se também a difratometria de raios X (DRX) do CP-V e do fíler calcário. Os resultados podem ser vistos na Figura 2: a) DRX do CP-V; b) DRX do fíler.

Figura 2. Difratometria de raios X do Cimento Portland CP-V e do fíler calcário: (a) CP-V e (b) fíler calcário



Conforme a Figura 2, para o cimento (a), evidencia-se a Alita (C_3S), responsável pela resistência inicial do cimento, com picos em torno de 30° a 40° em 2θ. Também é possível observar a gipsita ($CaSO_4$), utilizada para controlar o tempo de pega, identificada pelo pico de 15°. A belita (C_2S), que contribui para a resistência a longo prazo, mostra picos entre 30° e 35°, enquanto o

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

aluminato tricálcico (C_3A), importante nas primeiras reações de hidratação, apresenta picos em torno de 15° a 20° em 2θ.

Paralelamente, para o fíler calcário, foi possível identificar os principais compostos mineralógicos, dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) (identificada pelo pico principal em cerca de 30° 2θ) e carbonato de cálcio ($CaCO_3$) na forma de calcita. A dolomita aparece em picos intensos, indicando uma grande quantidade do composto no material. O carbonato de cálcio também é bem representado, com múltiplos picos, principalmente entre 30° e 40° em 2θ.

2.2. Métodos experimentais

O método Taguchi foi utilizado para explorar a relação existente entre os componentes da argamassa autonivelante e sua fluidez, por intermédio do ensaio de mini-slump, com a medida do espalhamento. A matriz utilizada foi a L18(6^1 3^4), com cinco fatores e 18 ensaios. Essa matriz foi escolhida por permitir maior detalhamento do teor de aditivo superplastificante, com seis níveis, simultaneamente às variações dos demais materiais, com três níveis, o que se mostrou adequado para uma triagem inicial das interações mais relevantes.

As variáveis independentes definidas foram as quantidades de cimento, fíler calcário, areia, água e aditivo superplastificante. Como variável dependente, adotou-se o espalhamento. Os níveis mínimo e máximo de cada fator foram definidos com base em três critérios complementares: faixas reportadas na literatura para argamassas autonivelantes, condições usualmente empregadas na formulação de 1 m³ em escala de aplicação e limites práticos observados em estudos preliminares, de modo a evitar misturas inviáveis por falta de fluidez, segregação ou consumo excessivo de insumos, conforme sintetizado na Tabela 2.

Tabela 2. Nível inferior e superior de materiais em argamassas autonivelantes

Material	Nível inferior	Nível superior
Cimento (kg/m³)	200	600
Fíler calcário(Kg/m³)	0	600
Areia (Kg/m³)	500	1000
Água/cimento	0,40	1,00
Aditivo superplastificante (%)	0,70	5

A partir dessas faixas de referência, definiram-se os fatores e níveis do primeiro planejamento Taguchi, detalhados na Tabela 3. A seleção buscou contemplar combinações representativas do comportamento do sistema, preservando viabilidade prática de aplicação e sensibilidade estatística suficiente para identificar tendências de resposta.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 3. Fatores e níveis do primeiro planejamento pelo método Taguchi

Fator	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6	Diferença
Aditivo superplastificante (%)	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	0,1
Cimento (Kg/m³)	320	370	420				50
Fíler calcário (Kg/m³)	400	450	500				50
Areia (Kg/m³)	950	1000	1050				50
Água	250	265	280				15

A partir dos níveis e fatores, obtiveram-se as proporções para 1 m³ de argamassa a serem estudadas com diferentes teores de aditivo superplastificante, cimento, fíler calcário, areia e água. Os traços definidos são especificados na Tabela 4.

Tabela 4. Proporções de materiais definidas para o primeiro grupo de misturas pelo método Taguchi

Amostra	SP (%)				
AAN01	0,8	320	400	950	250
AAN02	0,8	370	450	1000	265
AAN03	0,8	420	500	1050	280
AAN04	0,9	320	400	1000	265
AAN05	0,9	370	450	1050	280
AAN06	0,9	420	500	950	250
AAN07	1,0	320	450	950	280
AAN08	1,0	370	500	1000	250
AAN09	1,0	420	400	1050	265
AAN10	1,1	320	500	1050	265
AAN11	1,1	370	400	950	280
AAN12	1,1	420	450	1000	250
AAN13	1,2	320	450	1050	250
AAN14	1,2	370	500	950	265
AAN15	1,2	420	400	1000	280
AAN16	1,3	320	500	1000	280
AAN17	1,3	370	400	1050	250
AAN18	1,3	420	450	950	265

Assim, com as proporções definidas, procedeu-se à realização dos ensaios de espalhamento e funil-V, conforme estabelecido pela EFNARC (2002), e à posterior análise dos resultados obtidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de ensaios laboratoriais

Os resultados abordam as respostas obtidas inicialmente nos ensaios de mini-slump, com os valores de espalhamento medidos em centímetros, assim como os valores de tempo de fluxo no

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

funil-V, em segundos. Ressalta-se que ambos foram comparados e analisados principalmente com base na EFNARC (2002). Assim, a Tabela 5, evidencia os resultados obtidos nos ensaios citados.

Tabela 5. Composição dos traços e resultados de espalhamento e tempo no funil-V

Amostra	Espalhamento (cm)	Tempo no funil-V (s)
AAN01	31	4,5
AAN02	30	6,5
AAN03	19,3	13
AAN04	31	4
AAN05	31,6	4,5
AAN06	11,6	30
AAN07	32	5
AAN08	10,15	30
AAN09	32,5	4,5
AAN10	31,75	4
AAN11	36,9	2,5
AAN12	31	6
AAN13	32	4
AAN14	34,25	5
AAN15	36,35	3
AAN16	35,6	2,5
AAN17	34,8	4
AAN18	37,7	3,5

Os resultados evidenciaram uma relação inversa entre as respostas analisadas: misturas com maior espalhamento (>35 cm) geralmente apresentaram menores tempos de escoamento no funil-V (<5 s), como nas amostras AAN11 (36,9 cm; 2,5 s) e AAN15 (36,35 cm; 3,0 s). Em contrapartida, combinações com elevado teor de fíler calcário (>500 kg/m³) e areia (>1000 kg/m³), associadas a menor disponibilidade hídrica (<265 kg/m³) ou dosagem subótima de superplastificante (SP <1,1%), resultaram em bloqueio de fluxo ou perda de desempenho. Observa-se, ainda, maior variação no espalhamento em relação ao tempo no funil-V, o que justifica o foco analítico nessa resposta.

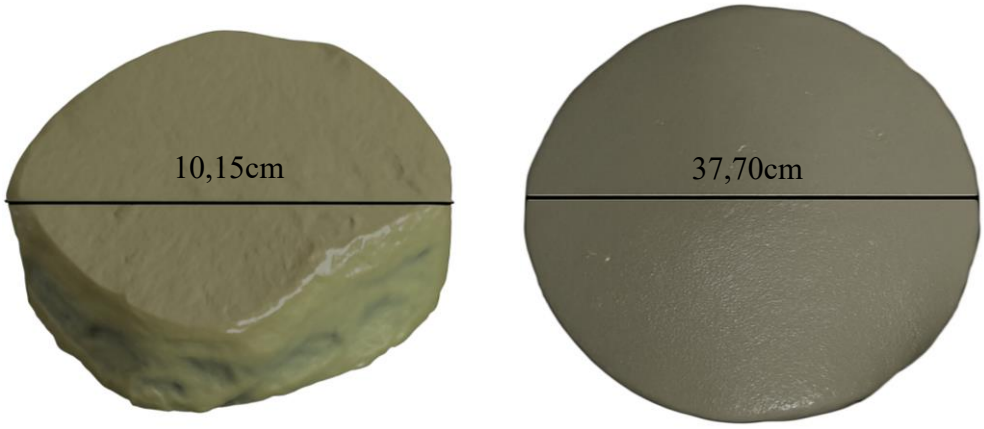
O aditivo superplastificante emergiu como fator dominante para a fluidez, mas sua eficiência mostrou-se condicionada ao equilíbrio com água e fíler calcário. Em geral, o aumento do teor de fíler na mistura requer maior quantidade de superplastificante para atingir a fluidez desejada, pois o acréscimo de finos amplia a área superficial e a demanda de água para molhamento das partículas (Scolaro; Rocha, 2021; Benabed *et al.,* 2012).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A análise conjunta das misturas indica que o equilíbrio entre coesão e fluidez depende da otimização simultânea de SP, fíler calcário e água. Teores moderados de fíler calcário (400–450 kg/m³) favoreceram a estabilidade sem comprometer o escoamento quando associados a SP >1,1% e água ≥265 kg/m³, ao passo que quantidades superiores a 500 kg/m³ aumentaram a viscosidade e reduziram o espalhamento.

De modo geral, combinações com SP entre 1,1 e 1,3%, água entre 265 e 280 kg/m³, fíler calcário ≤450 kg/m³ e areia ≤1000 kg/m³ favoreceram respostas mais elevadas de espalhamento e menores tempos no funil-V. Também se observou ampla variação entre as amostras, com valores extremos para a AAN08, com 10,15 cm de espalhamento, e para a AAN18, com 37,7 cm, evidenciadas na Figura 3: a) AAN08 e b) AAN18.

Figura 3. Espalhamento: a) AAN08 e b) AAN18



Pela imagem, percebe-se a divergência entre as duas amostras, com diferenças no espalhamento, nas bordas e no formato. Essa discrepância está associada à distinta combinação de materiais, uma vez que a AAN08 apresenta maior quantidade de fíler calcário e menor teor de água quando comparada à AAN18.

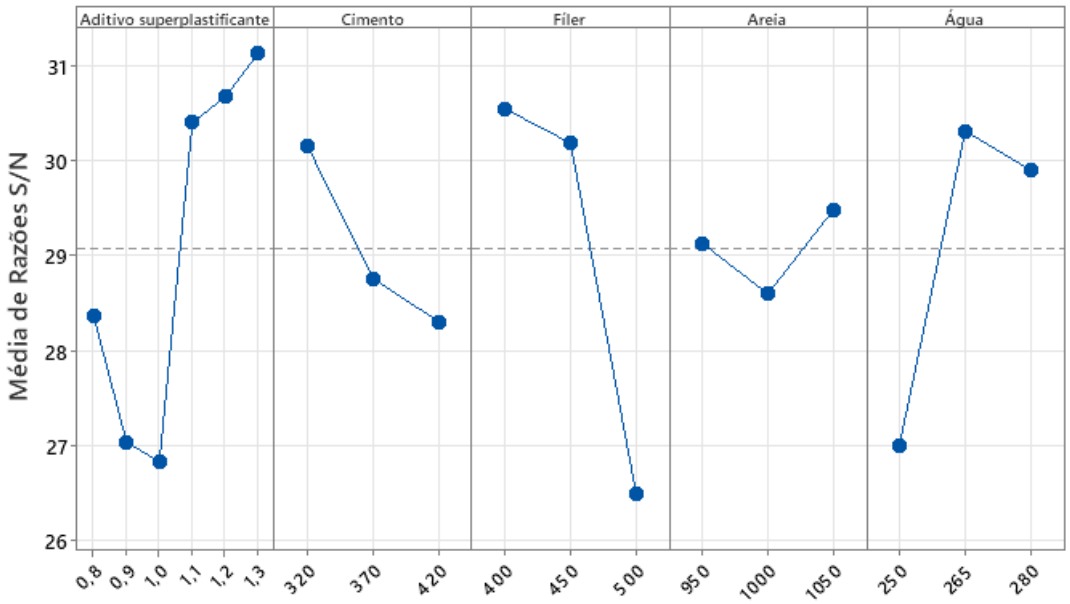
3.2. Análise de estatística básica e razão sinal/ruído

A partir dos resultados obtidos nos ensaios, analisaram-se os efeitos principais para as razões sinal/ruído (S/N) do espalhamento. A análise revela a influência individual dos fatores no espalhamento e, consequentemente, na fluidez da argamassa. Com a referida análise, foi possível compreender o impacto de cada material constituinte, de modo que valores mais altos no gráfico indicam níveis de fatores que promovem melhor desempenho em termos de fluidez. Assim, os resultados são ilustrados na Figura 4.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Figura 4. Efeitos principais para razões sinal/ruído (S/N) do espalhamento



O gráfico de efeitos principais evidencia que o aumento do aditivo superplastificante, de 0,8% para 1,3%, eleva de forma acentuada a razão S/N, confirmando sua influência direta na melhoria da fluidez da argamassa autonivelante.

Em sentido oposto, o aumento do consumo de cimento, de 320 para 420 kg/m³, esteve associado à redução da razão S/N, sugerindo diminuição da fluidez em misturas mais densas e com maior teor de finos reativos.

Para o fíler calcário, observou-se tendência de queda da razão S/N com o aumento de sua dosagem. Esse comportamento indica que o acréscimo de material fino contribui para elevar a coesão e a viscosidade da mistura, embora, em faixas moderadas, possa favorecer o empacotamento de partículas. Esse resultado é compatível com a literatura, que aponta efeito dual do pó calcário: em dosagens controladas, melhora a compactação do sistema; em excesso, amplia a demanda de água e tende a restringir o espalhamento (Wang; Jia, 2022; Wang *et al*., 2024; Zeng; Li, 2024).

Para a areia, a tendência foi mais estável, com menor impacto relativo sobre a razão S/N, o que sugere atuação predominantemente estruturante no intervalo estudado.

Quanto à água, verificou-se aumento da razão S/N com a elevação do teor hídrico, até uma faixa em que o ganho de fluidez passa a se estabilizar. Esse comportamento sugere a existência de limiares de resposta no sistema, reforçando que a interpretação dos efeitos deve considerar possíveis interações não lineares entre os componentes.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3.3. Análise de normalidade e correlações

A análise de normalidade dos dados foi realizada utilizando o teste de Shapiro-Wilk, com o objetivo de avaliar se as variáveis da mistura da argamassa seguem uma distribuição normal e também para definir quais testes estatísticos seriam aplicados, paramétricos ou não. Os resultados da estatística descritiva são evidenciados na Tabela 6, a seguir:

Tabela 6. Estatística descritiva e normalidade

	Espalhamento	Aditivo	Cimento		Areia	Água
W de Shapiro-Wilk	0.736	0.985	0.801	0.801	0.801	0.801
p Shapiro-Wilk	<0.001	0.988	0.002	0.002	0.002	0.002

Para o aditivo, o teste apresentou um valor de W = 0.985 e um p-valor de 0.988, o que indica que a distribuição dos dados do aditivo não apresenta diferenças significativas em relação a uma distribuição normal, já que o p-valor é superior a 0,05. Esse comportamento era esperado, pois os aditivos químicos costumam apresentar variações mais controladas, com influências menores nas flutuações de seus dados. Assim, os resultados indicam que o aditivo superplastificante tem um efeito estável e previsível sobre a fluidez da argamassa.

Por outro lado, o espalhamento obteve W = 0.736 e p-valor menor que 0.001, indicando que os dados não seguem uma distribuição normal. Isso sugere que o comportamento da fluidez da argamassa, medida pelo espalhamento, é influenciado por fatores variáveis e complexos, como a interação entre os componentes. Esse comportamento não normal é comum em misturas que envolvem várias interações de materiais, como a argamassa autonivelante.

Os demais componentes, como cimento, fíler calcário, areia e água, apresentaram valores de W próximos de 0.801 e p-valores de 0.002, indicando que também não seguem uma distribuição normal. Embora esses dados estejam mais próximos de uma distribuição normal do que o espalhamento, o p-valor abaixo de 0,05 sugere que não podemos considerar esses dados como normalmente distribuídos. Essa variação pode ser atribuída às peculiaridades dos processos de mistura e manipulação dos materiais, que podem gerar variação nos resultados de espalhamento. Ademais, destaca-se ainda a variabilidade natural desses componentes, refletindo as complexas interações entre eles.

Como a maioria das variáveis não seguiu distribuição normal, optou-se pelo teste de Kruskal-Wallis para comparar os espalhamentos das 18 misturas. Como resultado, obtiveram-se os valores de $\chi^2 = 17,0$ e $p = 0,454$, os quais indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas no espalhamento entre as 18 formulações testadas, apesar da ampla variação observada (11,6 a 37,7 cm). Este resultado demonstra que o sistema reológico das argamassas

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

autonivelantes, especialmente o espalhamento, possui mecanismos intrínsecos de compensação: variações em componentes individuais, como redução de água ou aumento de fíler, são equilibradas por interações sinérgicas com outros fatores, como ajuste de superplastificante ou água, mantendo um comportamento médio homogêneo (30,0 ± 8,01 cm).

Na prática, isso confere flexibilidade à dosagem, permitindo que combinações distintas de materiais atinjam desempenho reológico equivalente mesmo na ausência de normatização específica, com base na análise do mini-cone pelo espalhamento. Paralelamente, com os resultados de espalhamento dos ensaios, elaborou-se a matriz de correlações entre as variáveis envolvidas, evidenciada na Tabela 7.

Tabela 7. Matriz de correlações dos resultados obtidos no primeiro grupo de amostras

		Aditivo	Fíler calcário	Areia	Água	Cimento
Fíler calcário	ρ de Spearman	-0,052	-			
	p-value	0,836	-			
Areia	ρ de Spearman	0,000	0,000	-		
	p-value	1,000	1,000	-		
Água	ρ de Spearman	-0,052	0,000	0,000	-	
	p-value	0,836	1,000	1,000	-	
Cimento	ρ de Spearman	0,551	0,000	0,000	0,000	
	p-value	0,018	1,000	1,000	1,000	
Espalhamento	ρ de Spearman	0,651	-0,368	-0,131	0,394	0,000
	p-value	0,003	0,133	0,603	0,105	1,000

Os coeficientes apresentados na Tabela 7 corroboram os padrões observados no gráfico de efeitos principais e ajudam a hierarquizar a influência dos componentes sobre o espalhamento.

O aditivo superplastificante apresentou correlação positiva moderada e estatisticamente significativa com o espalhamento (ρ = 0,651; p = 0,003), indicando que o aumento do seu teor tende

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

a favorecer a fluidez da argamassa. A água apresentou correlação positiva moderada (ρ = 0,394; p = 0,105), embora sem significância estatística no conjunto analisado.

O fíler calcário mostrou correlação negativa moderada (ρ = -0,368; p = 0,133), sugerindo tendência de redução do espalhamento com o aumento de sua dosagem. A areia apresentou correlação negativa fraca (ρ = -0,131; p = 0,603), enquanto o cimento não apresentou correlação monotônica com o espalhamento (ρ = 0,000; p = 1,000).

Em síntese, os resultados indicam que o controle do aditivo superplastificante, da água e do fíler calcário é decisivo para o ajuste da fluidez, balizando formulações que atendam aos limites de espalhamento adotados neste estudo.

3.4. Regressão linear

Para uma análise complementar, procedeu-se com a regressão linear a fim de avaliar as relações entre os diferentes componentes da argamassa autonivelante e sua fluidez, especificamente o espalhamento. Por meio dessa análise, buscou-se quantificar o impacto das variáveis independentes, como o aditivo superplastificante, cimento, fíler calcário, areia e água, sobre o comportamento da mistura, assim como verificar se o modelo possui capacidade de predizer outros traços de argamassa autonivelante. Os resultados dessa regressão podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8. Análise de regressão linear

R	R²	R² ajustado	Teste ao modelo global			
			F	**gl1**	**gl2**	**P**
0,856	0,733	0,622	6,58	5	12	0,004

O modelo de regressão evidenciou capacidade preditiva significativa, com R = 0,856 (R² = 0,733; p = 0,004), indicando que a interação entre cimento, aditivo, água, fíler calcário e areia explica 73,3% da variabilidade no espalhamento. A consistência do R² ajustado (0,622) sustenta sua utilidade para orientar dosagens, embora parte da variabilidade remanescente possa estar associada a efeitos não lineares ou a interações de ordem superior não integralmente captadas pelo modelo linear.

Em seguida, realizou-se a análise de colinearidade entre os componentes da argamassa, com o intuito de identificar possíveis redundâncias entre as variáveis independentes. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 9.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 9. Resultados de colinearidade e tolerância do primeiro grupo de amostras

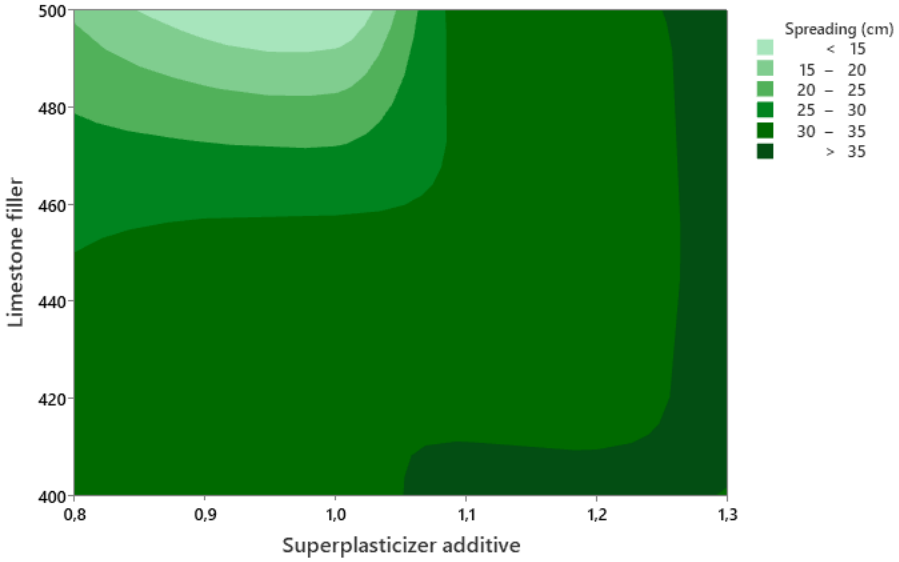
	VIF	Tolerância
Aditivo	1,46	0,683
Cimento	1,46	0,686
Fíler calcário	1,00	0,996
Areia	1,00	0,998
Água	1,00	1,000

A análise de colinearidade, realizada por meio dos índices de *Variance Inflation Factor* (VIF) e tolerância, revelou boa estabilidade do modelo. O aditivo superplastificante e o cimento apresentaram VIF de 1,46 e tolerâncias de 0,683 e 0,686, respectivamente, indicando baixa inter-relação entre essas variáveis.

Além disso, fíler calcário, areia e água apresentaram VIF próximos de 1,00, com tolerâncias elevadas, o que indica ausência de colinearidade relevante e reforça a interpretação independente dos efeitos de cada componente no intervalo estudado.

Esses resultados são favoráveis, pois indicam que as variáveis podem ser analisadas separadamente, o que facilita a interpretação dos efeitos de cada uma na qualidade da argamassa. Para complementar essa leitura, apresenta-se na Figura 5 o gráfico de contorno do espalhamento, relacionando o fíler calcário e o aditivo superplastificante.

Figura 5. Gráfico de contorno do espalhamento relacionando o fíler calcário e o aditivo superplastificante



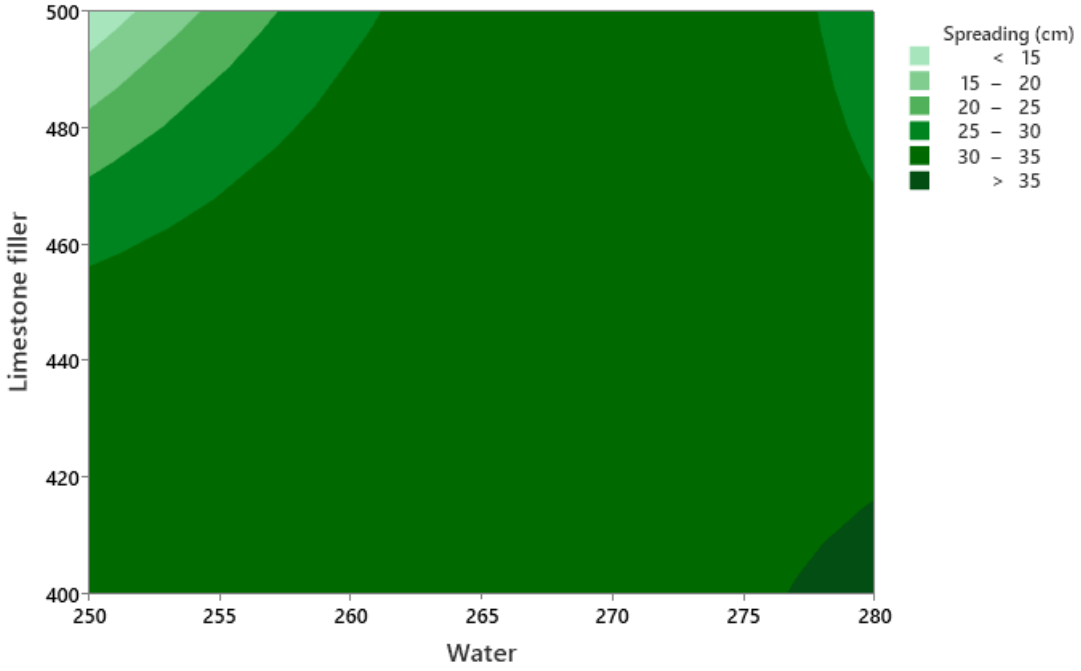
ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

O gráfico de contorno evidencia que o espalhamento máximo (>35 cm) depende de compensação entre fíler calcário e aditivo superplastificante. Baixos teores de fíler calcário (≤425 kg/m³) demandam SP superior a 1,2%, enquanto teores a partir de 450 kg/m³ tendem a reduzir a fluidez quando o aditivo é inferior a 1,0%. A região intermediária, entre 30 e 35 cm, concentra combinações mais estáveis e utilizáveis.

Essa análise visual complementa os resultados estatísticos ao indicar zonas de resposta e faixas críticas de dosagem. Ao mesmo tempo, sugere comportamento não estritamente linear, com regiões de transição que justificam refinamento experimental em intervalos menores. Para ampliar essa leitura, relaciona-se ainda o fíler calcário com a água, como mostrado na Figura 6.

Figura 6. Gráfico de contorno do espalhamento relacionando o fíler calcário e a água



A análise do gráfico da Figura 6 revela que o espalhamento máximo (>35 cm) ocorre quando baixos teores de fíler calcário (≤425 kg/m³) se associam a maiores teores de água (≥275 kg/m³). Em sentido oposto, espalhamentos reduzidos (<20 cm) concentram-se em cenários de desequilíbrio, com fíler calcário superior a 475 kg/m³ e água abaixo de 260 kg/m³, condição que eleva a viscosidade da mistura.

Observa-se, ainda, uma zona de transição entre 30 e 35 cm para fíler calcário entre 425 e 450 kg/m³ e água entre 270 e 280 kg/m³, indicando faixa promissora para ajuste fino. Esse comportamento reforça a utilidade do método Taguchi para triagem e otimização inicial, mas também evidencia a necessidade de investigações adicionais quando se busca descrever com maior profundidade interações não lineares entre os componentes.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3.5. Validação da dosagem com segundo planejamento pelo método Taguchi

Considerando a necessidade de refinar os intervalos inicialmente analisados, optou-se por restringir as quantidades de água e de aditivo superplastificante e por redefinir a faixa de fíler calcário em um intervalo menor. Essas alterações foram baseadas nos resultados do primeiro planejamento, sobretudo nas regiões de resposta mais favoráveis e nas zonas de transição identificadas pelos gráficos de contorno, com o intuito de aproximar as misturas de faixas de espalhamento compatíveis com a aplicação prática. Na Tabela 10 são especificados os fatores e níveis do segundo planejamento pelo método Taguchi, em uma matriz L32, com cinco fatores e 32 ensaios, contemplando um fator com dois níveis e quatro fatores com quatro níveis.

Tabela 10. Fatores e níveis do segundo planejamento pelo método Taguchi

Fator	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Diferença
Aditivo superplastificante	0,80	0,85	0,90	0,95	0,05
Cimento	320	355	390	425	35
Fíler calcário	435	450	465	480	15
Areia	950	1050	-	-	100
Água	230	240	250	260	10

Com os referidos níveis atualizados foi possível realizar novas misturas para analisar o espalhamento, que foi a variável mais significativa, sendo dessa vez realizadas 32 amostras, cujos resultados de espalhamento são evidenciados na Tabela 11.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 11. Proporções dos materiais definidos no planejamento Taguchi para o segundo grupo de amostras

		Aditivo (g)	SP (%)	Cimento (kg/m³)			Espalhamento (cm)
AAN01	950	2,56	0,8	320	435	230	13,9
AAN02	950	2,84	0,8	355	450	240	31,7
AAN03	950	3,12	0,8	390	465	250	33
AAN04	950	3,4	0,8	425	480	260	34,4
AAN05	950	2,72	0,85	320	435	240	27,2
AAN06	950	3,0175	0,85	355	450	230	32,05
AAN07	950	3,315	0,85	390	465	260	32,5
AAN08	950	3,6125	0,85	425	480	250	33,1
AAN09	950	2,88	0,9	320	450	250	32,9
AAN10	950	3,195	0,9	355	435	260	32,8
AAN11	950	3,51	0,9	390	480	230	10
AAN12	950	3,825	0,9	425	465	240	33
AAN13	950	3,04	0,95	320	450	260	33,15
AAN14	950	3,3725	0,95	355	435	250	30,25
AAN15	950	3,705	0,95	390	480	240	33,8
AAN16	950	4,0375	0,95	425	465	230	12,85
AAN17	1050	2,56	0,8	320	480	230	10
AAN18	1050	2,84	0,8	355	465	240	12,45
AAN19	1050	3,12	0,8	390	450	250	32,7
AAN20	1050	3,4	0,8	425	435	260	28,05
AAN21	1050	2,72	0,85	320	480	240	31,1
AAN22	1050	3,0175	0,85	355	465	230	10,35
AAN23	1050	3,315	0,85	390	450	260	31,9
AAN24	1050	3,6125	0,85	425	435	250	27,9
AAN25	1050	2,88	0,9	320	465	250	29,35
AAN26	1050	3,195	0,9	355	480	260	29,35
AAN27	1050	3,51	0,9	390	435	230	18,35
AAN28	1050	3,825	0,9	425	450	240	19,75
AAN29	1050	3,04	0,95	320	465	260	32,2
AAN30	1050	3,3725	0,95	355	480	250	29
AAN31	1050	3,705	0,95	390	435	240	30
AAN32	1050	4,0375	0,95	425	450	230	15,7

Com a realização dos ensaios procedeu-se com a análise estatística, cujos resultados são evidenciados na Tabela 12.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 12. Estatística descritiva dos ensaios realizados para o segundo grupo de amostras

	Espalhamento	Água		Cimento	Aditivo	Areia
W de Shapiro-Wilk	0.771	0.858	0.858	0.858	0.974	0.638
p Shapiro-Wilk	< .001	< .001	< .001	< .001	0.613	< .001

A análise da normalidade dos dados, para esse grupo de amostras, evidenciou que a variável relacionada ao aditivo superplastificante apresentou comportamento estatisticamente compatível com a distribuição normal, com W = 0,974 e p = 0,613. Tal resultado indica uma distribuição dos dados mais simétrica e regular, possivelmente associada ao controle mais preciso na dosagem deste material ou à sua menor sensibilidade à interação com os demais materiais, tendo em vista que seu aumento foi diretamente proporcional ao aumento do espalhamento.

Por outro lado, as variáveis água (W = 0,858; p < 0,001), cimento (W = 0,858; p < 0,001) e fíler (W = 0,858; p < 0,001), embora apresentem rejeição estatística da hipótese nula de normalidade, mantêm coeficientes W relativamente altos, sugerindo que seus desvios da normalidade podem estar mais associados à leve assimetria ou presença de outliers pontuais, e não necessariamente a uma dispersão estrutural grave.

No caso do espalhamento (W = 0,771; p < 0,001) e da areia (W = 0,638; p < 0,001), os menores valores de W indicam distribuições mais distantes do padrão normal, o que pode ser atribuído à elevada sensibilidade dessas variáveis frente a pequenas variações de composição. O espalhamento, em especial, é uma propriedade reológica diretamente influenciada por múltiplos fatores simultâneos, sendo naturalmente mais suscetível a comportamentos não lineares.

Partindo desse princípio, analisou-se então a correlação entre os materiais que compõem esse grupo de argamassas autonivelantes, cujos resultados são evidenciados na Tabela 13.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 13. Matriz de correlações dos resultados obtidos no planejamento com 32 amostras

		Aditivo	Fíler calcário	Areia	Água	Cimento
Fíler calcário	P de Spearman	0,000	-	-	-	
	p-value	1,000	-	-	-	
Areia	P de Spearman	0,000	0,000	-	-	
	p-value	1,000	1,000	-	-	
Água	P de Spearman	0,000	0,000	0,000	-	
	p-value	1,000	1,000	1,000	-	
Cimento	P de Spearman	0,861	0,000	0,000	0,000	
	p-value	<0,001	1,000	1,000	1,000	
Espalhamento	P de Spearman	0,086	0,117	-0,450	0,612	0,073
	p-value	0,639	0,525	0,010	<0,001	0,693

No segundo planejamento, a areia apresentou correlação negativa moderada e significativa com o espalhamento (ρ = -0,450; p = 0,010), enquanto a água apresentou correlação positiva e altamente significativa (ρ = 0,612; p < 0,001). Em conjunto, esses resultados reforçam que o equilíbrio entre conteúdo sólido e disponibilidade hídrica continua sendo determinante para a fluidez.

O aditivo superplastificante apresentou correlação positiva, porém não significativa estatisticamente (ρ = 0,086; p = 0,639), ao passo que o fíler calcário também exibiu correlação positiva não significativa (ρ = 0,117; p = 0,525). Esses resultados sugerem que, na faixa refinada do segundo planejamento, parte dos efeitos desses componentes pode ter sido atenuada pela redução dos intervalos de variação.

Ademais, procedeu-se então com a análise de colinearidade para o novo grupo de misturas, cujo resultado é apresentado na Tabela 14.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 14. Resultados de colinearidade e tolerância do segundo grupo de amostras

	VIF	Tolerância
Areia	1.00	1.000
Aditivo	3.70	0.270
Cimento	3.69	0.271
	1.00	1.000
Água	1.01	0.993

A Tabela 14 revela que areia, fíler calcário e água apresentaram VIF próximos de 1,00 e tolerâncias elevadas, indicando baixa multicolinearidade e contribuição relativamente independente no modelo.

Já o aditivo superplastificante e o cimento apresentaram VIFs de 3,70 e 3,69, com tolerâncias de 0,270 e 0,271, respectivamente. Embora a multicolinearidade não seja crítica, esses valores sugerem dependência moderada entre essas variáveis, aspecto que deve ser considerado na interpretação das dosagens e reforça a conveniência de estudos futuros com modelos que capturem interações mais complexas.

4. CONSIDERAÇÕES

O presente estudo teve como objetivo otimizar a dosagem de argamassas autonivelantes utilizando o método Taguchi, avaliando as interações entre os materiais constituintes e suas influências na fluidez, medida pelo espalhamento. Os resultados mostraram que o aditivo superplastificante desempenha o papel mais significativo na fluidez da mistura, seguido pela água e pelo fíler calcário. A análise de regressão linear, com $R^2 = 0,733$ e $p = 0,004$, indicou que 73,3% da variabilidade no espalhamento pode ser explicada pelas variáveis do modelo.

Além disso, a análise de colinearidade revelou interações moderadas entre o cimento e o aditivo, mas mostrou que, no geral, variáveis como areia, fíler calcário e água contribuem de forma relativamente independente para a fluidez da mistura. Esses achados são importantes para a formulação de argamassas autonivelantes com boas propriedades reológicas, contribuindo para dosagens mais racionais, menor consumo potencial de cimento Portland e menor desperdício de materiais.

Os resultados indicam que a otimização da dosagem da argamassa autonivelante pode ser conduzida de forma eficaz por meio do controle combinado de aditivo, água e fíler calcário, favorecendo o desempenho reológico sem comprometer a sustentabilidade do processo.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Entretanto, o alcance deste estudo está delimitado à avaliação do espalhamento como principal resposta, com validação em escala laboratorial e para um conjunto específico de materiais, sem análise de propriedades mecânicas, durabilidade ou comparação entre diferentes tipos de aditivos superplastificantes. Assim, recomenda-se que estudos futuros integrem resistência, estabilidade em longo prazo e investigação de comportamentos não lineares, ampliando a aplicabilidade dos resultados.

REFERÊNCIAS

ALVES, Brenda Maiara Oliveira; TEIXEIRA, Misley da Cruz; BERNARDO, Karen Suely Martins; CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro; POSSAN, Edna. Self-leveling mortars produced with different types of cement: physical-mechanical properties and carbon emissions. **Sustainability,** Basel, v. 16, n. 14, p. 1-21, 2024. DOI: 10.3390/su16145898.

ANJOS, Marcos A. S.; ARAÚJO, Tomaz R.; FERREIRA, Ruan L. S.; FARIAS, Evilane C.; MARTINELLI, Antonio E. Properties of self-leveling mortars incorporating a high-volume of sugar cane bagasse ash as partial Portland cement replacement. **Journal of Building Engineering**, v. 32, 2020, p. 101694. ISSN 2352-7102. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101694.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão; DIAS, João Fernando (Coord.). **Materiais de Construção** – Volume Único. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2025. ISBN 978-85-216-3905-3.

BENABED, B.; KADRI, E.-H.; AZZOUZ, L.; KENAI, S. Properties of self-compacting mortar made with various types of sand. **Cement and Concrete Composites**, v. 34, n. 10, p. 1167–1173, 2012. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2012.07.007.

CHEN, H.-J.; CHANG, S.-N.; TANG, C.-W. Application of the Taguchi Method for Optimizing the Process Parameters of Producing Lightweight Aggregates by Incorporating Tile Grinding Sludge with Reservoir Sediments. **Materials**, 2017, v. 10, n. 11, DOI: 10.3390/ma10111294.

CHUANG, P.-M.; YEIH, W.-C.; HUANG, R.; CHANG, J.-J. Um estudo sobre cinzas volantes ultrafinas reativas e cimento sulfoaluminado em argamassa autonivelante. **Applied Sciences**, v. 15, p. 1358, 2025. DOI: 10.3390/app15031358.

EFNARC. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. **Report from EFNARC**, *[s. l.],* v. 44, n. February, 2002.

KHALAJ, Gholamreza; SEYED HASSANI, Seyed Ehsan; KHEZRLOO, Amirreza; HARATIFAR, Emad-al-din. Split tensile strength of OPC-based geopolymers: Application of DOE method in evaluating the effect of production parameters and their optimum condition. **Ceramics International**, v. 40, n. 7, p. 10945-10952, 2014. DOI: 10.1016/j.ceramint.2014.03.094.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RYAN, T. P. Taguchi's Quality Engineering Handbook. **Journal of Quality Technology**, v. 37, n. 3, p. 249-251, 2005. DOI: 10.1080/00224065.2005.11980326.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

SCOLARO, T. P.; ROCHA, J. C. Effect of filler nature on mechanical performance and drying shrinkage of self-leveling mortars. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 14, n. 3, e14303, 2021. DOI: 10.1590/S1983-41952021000300003.

SUJI, D.; ADESINA, Adeyemi; MIRDULA, R. Optimization of self-compacting composite composition using Taguchi-Grey relational analysis. **Materialia**, v. 15, p. 101027, 2021. DOI: 10.1016/j.mtla.2021.101027.

WANG, D. H.; JIA, H. F. A quantitative study on the synergistic effect between limestone powder and supplementary cementitious materials. **Advances in Cement Research**, v. 34, n. 7, 2022. DOI: 10.1680/jadcr.21.00027.

WANG, Yuli; ZHANG, Wanyu; LOU, Guanghui; YAO, Tianshuai. Effect of limestone powder on mechanical properties of concrete based on Griffith's microcracking theory. **Construction and Building Materials,** v. 449, p. 138413, 2024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.138413.

ZENG, H.; LI, Y. Effect of waste stone powder on compressive strength and pore structure of concrete in extreme low temperature and complex environment. **Journal of Building Engineering**, v. 95, p. 110108, 2024. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.110108.

ZHANG, S.; XU, X.; MEMON, S. A.; DONG, Z.; LI, D.; CUI, H. Effect of calcium sulfate type and dosage on properties of calcium aluminate cement-based self-leveling mortar. **Construction and Building Materials,** v. 167, p. 253-262, 2018. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.146.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.