XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO POR FÍLER CALCÁRIO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM BASE EM MODELOS DE EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

Analysis of partial replacement of cement with limestone filler in rendering mortars based on particle packing models

LARA BIANCATO RUHNKE[1], MARIENNE R. M. M. COSTA[2]
[1]M.Sc., Universidade Federal do Paraná/UFPR, larabiancato@ufpr.br
[2]Profª Drª - PPGECC, Universidade Federal do Paraná/UFPR, mariennemaron@gmail.com

RESUMO
Este trabalho investiga a substituição parcial do cimento *Portland* por fíler calcário em argamassas de revestimento definindo teores de substituição através de técnicas de empacotamento de partículas. Foram analisados teores de 0%, 15%, 20% e 25% em seu estado fresco e endurecido, além de cinco formulações adicionais para validação do empacotamento. O teor de 20% de fíler calcário demonstrou ser o mais eficaz para o traço e materiais estudados, proporcionando um equilíbrio entre trabalhabilidade e resistência mecânica. Conclui-se que a substituição é viável, reduz impactos ambientais e que teores superiores aumentam a flexibilidade, mas comprometem a resistência à compressão.

Palavras-chave: Fíler calcário. Empacotamento de partículas. Argamassas de revestimento. Substituição parcial de cimento Portland. Sustentabilidade.

ABSTRACT
This study investigates the partial replacement of Portland cement with limestone filler in rendering mortars, determining replacement levels using particle packing techniques. Substitution levels of 0%, 15%, 20%, and 25% were analyzed in both fresh and hardened states, along with five additional formulations for packing validation. A 20% limestone filler content proved to be the most effective for the studied mix design and materials, achieving a balance between workability and mechanical strength. The findings indicate that the replacement is feasible, reduces environmental impacts, and that higher filler contents enhance flexibility but compromise compressive strength.

Key-words: Limestone filler, particle packing, rendering mortars, partial cement replacement, sustainability.

Como citar:
RUHNKE, L. B.; COSTA, M. R. M. M. Análise da substituição parcial de cimento por fíler calcário em argamassas de revestimento com base em modelos de empacotamento de partículas. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

O cimento *Portland*, com produção global superior a 4,4 bilhões de toneladas anuais [1], é fundamental na construção civil, mas sua produção é responsável por cerca de 7% a 8% das emissões de CO_2 [2]. Além da emissão de gás, o setor consome entre 20% e 50% dos recursos naturais do planeta [3]. Neste contexto, a substituição parcial do cimento *Portland* por materiais finos, como o fíler calcário, emerge como uma alternativa sustentável, capaz de mitigar o impacto ambiental e, em certas situações, reduzir custos.

Essa abordagem apresenta vantagens tanto ambientais quanto técnicas [4]. Estudos demonstram a viabilidade da substituição parcial do cimento *Portland* por materiais finos em concretos [5][6] e argamassas [7], porém, a definição de teores ideais ainda é pouco explorada em argamassas de revestimento. O fíler calcário, derivado de rochas ricas em carbonato de cálcio, não apenas reduz a dependência de clínquer, como também melhora propriedades como trabalhabilidade e durabilidade, contribuindo para menores emissões de CO_2 [8].

O conceito de empacotamento de partículas, que busca preencher vazios entre partículas maiores com menores, tem sido utilizado para otimizar misturas cimentícias, reduzindo a necessidade de água e aglomerantes [9][10]. Essa técnica é especialmente relevante para argamassas de revestimento, pois mantém o desempenho técnico enquanto diminui a dependência do cimento *Portland*.

Portanto, este estudo investiga a viabilidade da substituição parcial do cimento *Portland* por fíler calcário em argamassas de revestimento, utilizando o empacotamento de partículas para determinar teores ideais de substituição. O objetivo é oferecer uma solução técnica que minimize o impacto ambiental, garantindo o desempenho adequado para aplicações na construção civil.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi desenvolvido para avaliar o desempenho de argamassas mistas de revestimento com traço volumétrico 1:1:6, considerando a substituição parcial do cimento *Portland* por fíler calcário, com base em técnicas de empacotamento de partículas. O estudo envolveu dois grupos de argamassas: argamassas estudadas, utilizadas para determinar a quantidade de fíler aplicada nas formulações por meio das técnicas de empacotamento de partículas, sendo posteriormente ensaiadas nos estados fresco e endurecido; e argamassas comparativas, empregadas para validação dos dados de empacotamento obtidos no primeiro grupo.

Foram selecionados como materiais o cimento *Portland* CP II F 32 e a cal hidratada CH III como aglomerantes, areia artificial como agregado miúdo, e fíler calcário como substituto parcial do cimento *Portland*. As técnicas de empacotamento empregadas incluíram o método experimental de Wong e Kwan [11] e o modelo analítico CPM de De Larrard [12], que visam otimizar a densidade de empacotamento das misturas. O CPM permite prever a densidade de empacotamento máximo em misturas de partículas de diferentes tamanhos, enquanto o método experimental fornece dados práticos sobre a interação entre partículas [13].

As argamassas estudadas foram formuladas com teores de 0%, 15%, 20% e 25% de fíler calcário, definidos com base nos resultados das técnicas de empacotamento de partículas e em análises de estudos prévios [14][8][15]. Essas formulações buscaram explorar uma substituição progressiva do cimento *Portland*. Por outro lado, as argamassas comparativas foram preparadas com o mesmo traço volumétrico, mas com teores de substituição de 0%, 4%, 10%, 16% e 20%, abrangendo intervalos menores para garantir uma análise mais detalhada e representativa dos dados obtidos.

O programa experimental foi organizado em três etapas principais, além de uma etapa adicional:

- Etapa I – Caracterização dos materiais: Foram obtidos dados sobre granulometria, densidade, teor de finos e outras propriedades essenciais para a aplicação das técnicas de empacotamento.

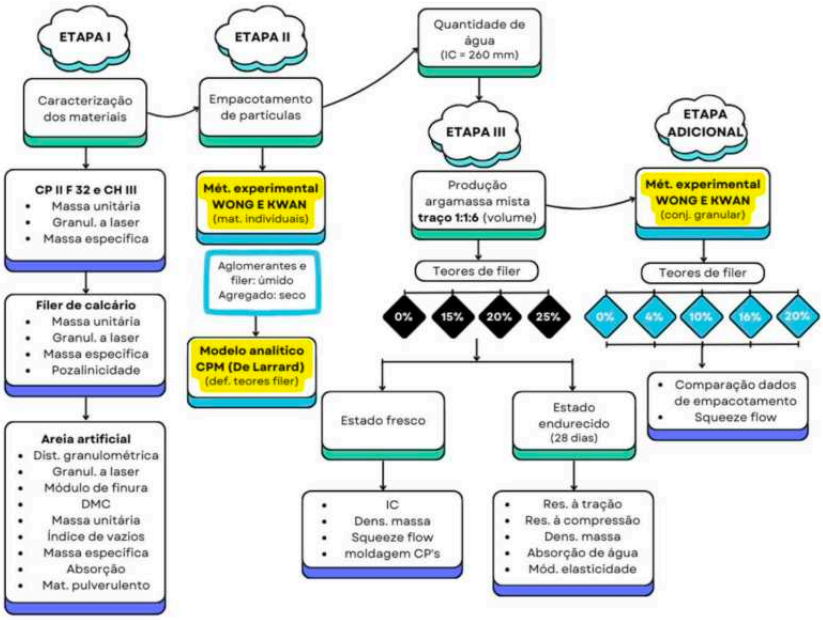
- Etapa II – Aplicação das técnicas de empacotamento de partículas: Incluiu o método experimental e o modelo CPM, que determinaram os teores de substituição mais adequados e a densidade máxima de empacotamento.

- Etapa III – Produção e ensaio das argamassas estudadas: Após definir a quantidade de água pelo ensaio de consistência (*flow table*), foram produzidas as argamassas estudadas e submetidas a ensaios nos estados fresco e endurecido, aos 28 dias de cura.

- Etapa Adicional: Aplicou-se o método experimental para o conjunto granular às argamassas comparativas para validar os resultados do empacotamento obtidos nas argamassas estudadas.

Para melhor entendimento do programa experimental, a Figura 1 apresenta um fluxograma do programa experimental.

Figura 1 - Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Ruhnke [27].

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E ARGAMASSAS

Na Tabela 1 estão apresentados os ensaios realizados para caracterização dos materiais, enquanto a Tabela 2 resume os ensaios aplicados ao estudo de empacotamento e às propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas. Vale ressaltar que o método empregado para avaliação do módulo de elasticidade estático das argamassas em estudo foi o proposto por Marques [16].

Tabela 1 - Ensaios e normas utilizadas para caracterização dos materiais.

Insumo	Ensaio	Norma consultada
CP II F 32, CH III e Fíler calcário	Granulometria a laser	ISO 13320 [17]
CP II F 32 e CH III	Massa unitária	ABNT NBR 16972 [18]
	Massa específica	ABNT NBR 16605 [19]
Fíler calcário	Massa unitária	ABNT NBR 16972 [18]
	Massa específica	ABNT NBR 16605 [19]
	Pozalinicidade	ABNT NBR 5751 [20]
		ABNT NBR 5752 [21]
Areia artificial	Distribuição granulométrica	ABNT NBR 17054 [22]
	Módulo de finura	
	DMC	
	Massa unitária	ABNT NBR 16972 [18]
	Índice de vazios	
	Massa específica	ABNT NBR 16916 [23]
	Absorção	
	Teor de material pulverulento	ABNT NBR 16973 [24]
	Granulometria a laser	ISO 13320 [17]

Fonte: adaptado de Ruhnke [27].

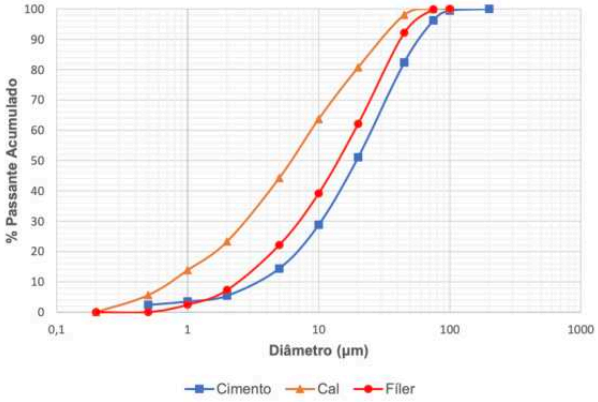
Tabela 2 - Ensaios realizados no estudo de empacotamento de partículas e caracterização das argamassas.

Ensaios	
Empacotamento de partículas	Método experimental – Wong e Kwan
	Modelo analítico CPM
Estado fresco	Produção de argamassas
	IC
	Densidade de massa
	Squeeze-flow
Estado endurecido	Resistência à tração e à compressão
	Densidade de massa
	Absorção de água
	Módulo de elasticidade

Fonte: adaptado de Ruhnke [27].

A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas obtidas a partir do ensaio de granulometria a *laser* para os três materiais finos empregados na composição da argamassa, nomeadamente o cimento *Portland*, a cal e o fíler de calcário.

Figura 2 - Granulometria a *laser* do cimento *Portland*, cal e fíler calcário.



Fonte: Ruhnke [27].

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos na caracterização do cimento *Portland*, cal hidratada e fíler calcário.

Tabela 3 - Caracterização do cimento *Portland*, cal hidratada e fíler calcário.

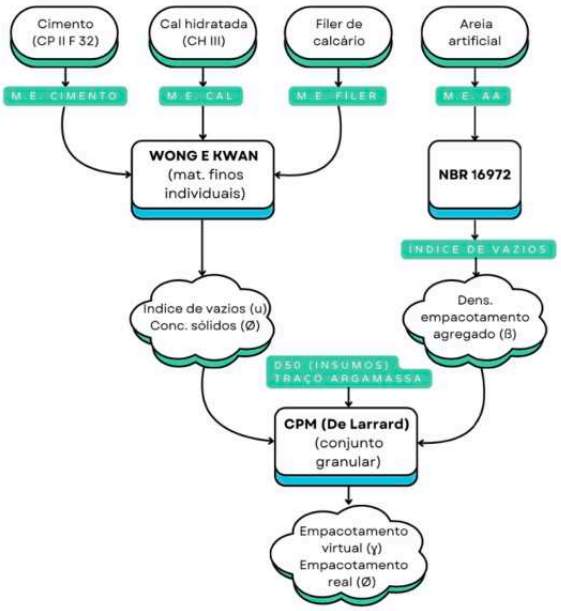
Material	Massa unitária (kg/m³)	Massa específica (kg/m³)
CP II F	1122,29	3120,00
CH III	777,27	2390,00
Fíler calcário	1109,54	2720,00

Fonte: adaptado de Ruhnke [27].

EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

O estudo do empacotamento de partículas seguiu o fluxograma apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do estudo de empacotamento de partículas.



Fonte: Ruhnke [27].

A densidade de empacotamento individual dos materiais finos foi definida a partir do método experimental de Wong e Kwan [11] e a densidade de empacotamento dos agregados foi calculada com base no índice de vazios (IV), conforme estabelecido pela norma NBR 16972 [18].

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS MISTAS

A Tabela 4 apresenta os traços em volume das argamassas, os teores de substituição do cimento *Portland* por fíler calcário em cada formulação, o teor de fíler presente no cimento *Portland* utilizado, o teor total de fíler em massa, e a relação água/materiais secos (a/ms). Para o cálculo da porcentagem total de finos nos materiais secos da argamassa (em massa), foram considerados os 25% de fíler calcário presentes no cimento *Portland* CP II F 32 utilizado, a porcentagem de substituição de cimento *Portland* por fíler calcário em cada formulação, e o material pulverulento presente na areia artificial (4,85%).

Essa análise é essencial, pois a fração de finos na mistura não provém exclusivamente do fíler adicionado. A consideração dos finos adicionais, provenientes tanto do cimento *Portland* quanto do agregado miúdo, é crucial para determinar com precisão a composição granulométrica da mistura. Assim, a porcentagem total de finos na argamassa representa um parâmetro mais realista, influenciando diretamente as propriedades reológicas e mecânicas das argamassas estudadas.

Tabela 4 - Formulações para as argamassas produzidas para os ensaios.

Argamassa	Traço (volume)	Teor de fíler (em massa)	Teor fíler cimento *Portland* (em massa)	Teor de fíler total (em massa)	a/ms
REF	1:1:6	0%	25%	6,59%	0,20
ARG15	1:1:6	15%	25%	7,75%	0,20
ARG20	1:1:6	20%	25%	8,14%	0,21
ARG25	1:1:6	25%	25%	8,52%	0,21

Fonte: adaptado de Ruhnke [27].

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ESTUDO DO EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

ETAPA II – MÉTODO EXPERIMENTAL WONG E KWAN

Os resultados obtidos para os materiais individuais estão apresentados na Tabela 5. Esses valores indicam que a máxima concentração de sólidos do cimento *Portland* CP II F 32 foi de 0,550, correspondente a um índice de vazios de 0,818, com uma relação água/materiais finos de 0,23. Para a cal, observou-se uma concentração de sólidos máxima de 0,692 e para o fíler calcário de 0,621. Essas diferenças nas densidades de empacotamento refletem as características físicas distintas de cada material, com a cal exibindo maior eficiência no empacotamento devido à sua granulometria uniforme [11].

Tabela 5 - Índice de vazios mínimo e concentração de sólidos máxima para os materiais individuais.

Material	a/finos (massa)	Índice de Vazios - (υ)	Concentração de Sólidos - (ϕ)
CP II F 32	0,23	0,818	0,550
CH III	0,26	0,445	0,692
Fíler calcário	0,19	0,609	0,621

Fonte: Ruhnke [27].

Etapa II – Modelo CPM de De Larrard

Após determinar as densidades de empacotamento, aplicou-se o modelo CPM, considerando o índice de compactação K definido como 12 [15]. Os resultados mostram um aumento na densidade de empacotamento com a substituição do cimento *Portland* pelo fíler, sugerindo que características desse, como forma e textura, favorecem a compactação [12].

Etapa adicional – método experimental para o conjunto granular

A análise do empacotamento incluiu argamassas com 0%, 4%, 10%, 16% e 20% de fíler. As argamassas com maior teor de fíler obtiveram densidades superiores, mas a ausência de uma tendência linear sugere que fatores como a compactação e a forma das partículas exercem influência significativa nos resultados experimentais [14].

Resultados gerais para as argamassas

A Tabela 6 e a Tabela 7 apresentam os resultados gerais para as argamassas ensaiadas no estado fresco e endurecido.

Tabela 6 - Resultados gerais para as argamassas ensaiadas no estado fresco.

Argamassa	CPM		Estado fresco			
	Empac. virtual (γ)	Empac. real (Φ)	IC (mm)	Densidade (kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)	*Squeeze flow* - Δdef (-)
0%	0,57765	0,53512	257,72	2014,50	13,05	4,17
15%	0,57922	0,53654	259,73	2069,47	10,55	2,14
20%	0,57974	0,53701	259,68	2081,24	9,02	4,73
25%	0,58027	0,53749	264,56	2078,14	9,11	4,82

Fonte: Ruhnke [27].

Tabela 7 - Resultados gerais para as argamassas ensaiadas no estado endurecido.

Argamassa	CPM		Estado endurecido					
	Empac. virtual (γ)	Empac. real (Φ)	Res. à tração (MPa)	Res. à compressão (MPa)	Dens. média (kg/m³)	Absorção 10 min (g/cm²)	Absorção 90 min (g/cm²)	E médio (MPa)
0%	0,57765	0,53512	1,06	2,69	1867	0,206	0,598	5610,15
15%	0,57922	0,53654	0,82	2,00	1820	0,145	0,493	5419,83
20%	0,57974	0,53701	0,68	1,71	1808	0,119	0,395	3932,17
25%	0,58027	0,53749	0,59	1,47	1751	0,100	0,327	3209,22

Fonte: Ruhnke [27].

Os resultados mostraram que a relação água/materiais secos aumentou nas misturas com 20% e 25% de fíler, indicando de que o fíler exige mais água para trabalhabilidade devido à sua maior superfície específica [25]. A densidade das argamassas frescas aumentou com o teor de fíler, refletindo melhor empacotamento, enquanto o teor de ar incorporado diminuiu, indicando compactação melhorada [15].

Os resultados do *squeeze flow* revelaram que argamassas com fíler apresentaram melhor trabalhabilidade em comparação às misturas comparativas, devido à maior deformabilidade associada à quantidade de água [14].

A resistência mecânica diminui com o aumento do teor de fíler, evidenciando que a redução da quantidade de cimento *Portland* disponível impacta negativamente o desempenho, apesar dos benefícios de empacotamento [11].

Com o aumento do teor de fíler, a densidade de massa aparente diminuiu, o que é coerente com a menor massa específica do fíler obtida na caracterização.

Os resultados mostraram que o aumento do teor de fíler resultou em menor absorção de água e coeficiente de capilaridade, sugerindo que o material otimizou o empacotamento e reduziu a porosidade [26].

Os resultados também demonstram uma tendência de diminuição no módulo de elasticidade estático com o aumento do teor de fíler na mistura, indicando que, embora esse insumo melhore o empacotamento, compromete a coesão da matriz.

A adição de fíler calcário incrementa a densidade da argamassa fresca e reduz o teor de ar. A argamassa com 20% de fíler se destacou por melhores propriedades, mas ao atingir 25% apresentou queda de desempenho, sugerindo que um ponto de saturação foi alcançado, onde o excesso de finos comprometeu a eficácia do empacotamento [14]. Esses resultados destacam a importância de equilibrar as proporções de finos e água para otimizar as propriedades da argamassa em aplicações práticas.

CONCLUSÃO

O presente estudo analisou as propriedades de argamassas mistas de revestimento com substituição parcial do Cimento *Portland* por fíler calcário e areia artificial, visando otimizar o empacotamento de partículas e promover uma construção civil mais sustentável.

Os resultados revelaram que a substituição do cimento *Portland* por até 20% de fíler calcário pode ser benéfica, aumentando a trabalhabilidade e a flexibilidade das argamassas, conforme indicam os resultados dos testes de *squeeze flow*. Entretanto, a resistência mecânica, tanto à compressão quanto à tração, diminuiu significativamente com o aumento do teor de fíler na mistura, corroborando com estudos anteriores que enfatizam a importância da quantidade de cimento *Portland* para a coesão da mistura [11].

Dentre as formulações testadas, a argamassa com 20% de substituição destacou-se como a mais eficiente, apresentando equilíbrio nas propriedades no estado fresco e endurecido, atendendo às normas vigentes de desempenho. Essa argamassa evidenciou menores teores

de ar incorporado e maior densidade, além de melhorias na absorção de água e flexibilidade, o que a torna adequada para aplicações em revestimentos internos e externos.

Embora a utilização de fíler calcário contribua para práticas mais sustentáveis, ao reduzir o consumo de cimento *Portland* e as emissões de CO_2, é fundamental avaliar a substituição com cautela para não comprometer a resistência mecânica necessária em aplicações estruturais. A pesquisa sugere a exploração de teores de filler superiores a 20% para áreas onde a resistência não é crítica, priorizando propriedades como trabalhabilidade e durabilidade.

Assim, este estudo fornece diretrizes úteis para futuras pesquisas e desenvolvimento de argamassas mais sustentáveis, promovendo práticas mais responsáveis na construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] MIT Climate Portal. **Concrete**. Disponível em: https://climate.mit.edu/. Acesso em: 22 set. 2023.

[2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Cement Technology Roadmap 2022: Towards a Sustainable Industry**. 2022. Disponível em <https://www.iea.org> Acesso em: 12 dez. 2024.

[3] BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica, [s.I.], v. 61, n. 358, p. 178-189, jun. 2015. Fap UNIFESP (SciELO).

[4] BERTON, R.; MAGRI, C. H. R.; COSTA, E. B. C. **Avaliação do uso de finos em substituição ao cimento no desempenho mecânico de argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., 2017, São Paulo. Anais [...]. Curitiba, 2017. p. 1-13.

[5] CAMPOS, H. F. **Dosagem de concreto sustentável e de alta resistência, otimizada por modelos de empacotamento de partículas, com substituição parcial do cimento Portland por pó de pedra e sílica ativa**. Orientador: José Marques Filho. 2019. 290 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

[6] GARCÍA, C. M. V. **Avaliação do impacto do uso de fíler calcário como substituição ao cimento no comportamento reológico e retração de microconcretos**. Orientador: Antonio Domingues de Figueiredo. 2017. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

[7] CARDOSO, F. A.; AUGUSTI, A. C.; PILEGGI, R. G. **Influência do tipo de finos e do teor de aditivo retentor de água no comportamento reológico de argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 10., 2013, Fortaleza. Anais [...]. São Paulo, 2013. p. 1-12.

[8] ISAIA, G. A.; RIZZATTI, E. **O fíler calcário no concreto: Uma revisão.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 12, Vol. 15, p. 132-172. 2020.

[9] DAMINELI, B. **Conceitos para Formulação de Concretos com Baixo Consumo de Ligantes: Controle Reológico, Empacotamento e Dispersão de Partículas**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

[10] STROEVEN, P.; STROEVEN, M. S. **System for simulation of aggregated matter application to cement hydration**. Cement and Concrete Research, v. 29, n. 8, p. 1299-1304, 1999.

[11] WONG, H. H. C.; KWAN, A. K. H. **Packing density of cementitious materials: part 1 - measurement using a wet packing method**. Materials and Structures 41 - p. 689–701, 2008.

[12] DE LARRARD, F. **Concrete mixture proportioning a scientific approach.** Modern Concrete Technology Series, vol. 9, 421 p., London: E&FN SPON, 1999.

[13] MARTINS, E. J. **Diretrizes para dosagem de argamassas de revestimento utilizando métodos de empacotamento de partículas e comportamento reológico**. Orientadora: Marienne do Rocio de Mello Maron da Costa. 2021. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

[14] FORTUNATO, M.; MARTINS, B. R.; CASALI, J. M.; COLLODETTI, G.; BETIOLI, A. M. Estudo da substituição de cimento Portland pelo fino de britagem em argamassa auto-adensável. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 17., 2018. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2018. p. 145–153. DOI: 10.46421/entac.v17i1.1333. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1333>. Acesso em: 21 dez. 2024.

[15] FENNIS, S. A. A. M. **Design of ecological concrete by particle packing optimization**. Tese Doutorado –Technische Universiteit Delft, Amersfoort, Holanda, 2011.

[16] MARQUES, A. I.; MORAIS, J.; MORAIS, P.; VEIGA, M. R.; SANTOS, C.; CANDEIAS, P.; FERREIRA, J. G. Modulus of elasticity of mortars: Static and dynamic analyses. **Construction and Building Materials**, v. 232, 117216, 2020. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117216.

[17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO **13320**: Particle size analysis – Laser diffraction methods. 2. ed. Geneva: ISO, 2009.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **5751**: Materiais pozolânicos – Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **5752**: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

[23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16973**: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

[25] LI, L. G.; KWAN, A. K. H. **Concrete mix design based on water film thickness and paste film thickness**. Cement and Concrete Composite, v. 39, p. 33-42, 2013.

[26] SEQUEIRA, E. M.; GHISLENI, G. A influência da adição de fíler calcário em substituição parcial ao cimento em argamassa estabilizada de revestimento de paredes e tetos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 20-38, 2020.

[27] RUHNKE, L. B. **Análise da substituição parcial de cimento por fíler calcário em argamassas de revestimento com base em modelos de empacotamento de partículas**. 2024. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2024.