ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

EFICIÊNCIA DA MOAGEM DE PÓS (<0,15 MM) RECICLADOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) NA PRESENÇA DE ADITIVO

Efficiency of grinding of powder (<0,15 mm) recycled from Civil Construction Waste (CCW) in the presence of additive

Kathleen Dall Bello de Souza Risson
Doutoranda no PPGIES-UNILA, Docente no IFPR | Foz do Iguaçu, PR | kathleen.souza@ifpr.edu.br

Juliana Abatti Stopassoli
Bolsista do CNPQ Nível 2A-UNILA | Foz do Iguaçu, PR | ja.stopassoli.2021@aluno.unila.edu.br

Melissa Pastorini Proença
Mestranda no PPGECI-UNILA, TAE no IFPR | Foz do Iguaçu, PR | melissa.proenca@ifpr.edu.br

Dayana Ruth Bola Oliveira
Pós-Doutoranda no PPGECI-UNILA, Docente na UDC | Foz do Iguaçu, PR | dayruth@gmail.com

Kátya Regina de Freitas Zara
Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA | Foz do Iguaçu, PR | katya.freitas@unila.edu.br

Edna Possan
Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA | Foz do Iguaçu, PR | edna.possan@unila.edu.br

RESUMO

Esse estudo tem como objetivo avaliar a eficiência da moagem com uso de aditivo sobre o tamanho das partículas e a superfície específica (BET) de pós (<0,15 mm) reciclados de Resíduos da Construção Civil (RCC). Para isso, utilizou-se como referência o pó de concreto (PC) e o pó misto (PM), obtidos através da cominuição respectivamente de corpos de prova de concreto e de areia reciclada mista (materiais cerâmicos e cimentícios). Os pós de RCC foram submetidos ao processo de moagem em moinho de bolas planetário, em diferentes tempos (30, 60, 120, 180 e 240 minutos), teores (0,05, 0,1, 0,5 e 1%) e tipos de aditivos (propilenoglicol, hexametafosfato de sódio e trietanolamina). Diante dos resultados, verifica-se que o tratamento mais eficiente para o pó de concreto foi o de 60 minutos com o aditivo propilenoglicol no teor de 1%. Para o pó misto, devem ser verificados outros teores de aditivos, caso haja a necessidade de um material mais fino.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição (RCD's); Aditivos de moagem; Dispersantes; Materiais cimentícios suplementares (MCS's).

ABSTRACT

This study evaluates the grinding efficiency of the particle size and the specific surface (BET) of Civil Construction Waste powders (RCCs). For this, concrete powder (PC) and mixed powder (PM) were used as references, obtained through comminution, respectively, of concrete specimens and mixed recycled sand (ceramic and cementitious materials). The RCC powders were submitted to the grinding process in a planetary ball mill at different times (30, 60, 120, 180, and 240 minutes), levels (0.05, 0.1, 0.5 and 1%), and types of additives (Propylene glycol, Sodium hexametaphosphate, and Triethanolamine). The results show that the most efficient treatment (grinding) for the concrete powder was 60 minutes in the presence of the Propylene glycol additive at a content of 1% para. For the mixed powder, should check other additive contents, in case there is a need for a finer material.

Keywords: Construction and Demolition Waste (CDW); Grinding additives; Dispersing; Supplementary Cementitious Materials (SCMs).

1 INTRODUÇÃO

Os Resíduos da Construção Civil (RCC) estão presentes em toda fase de construção e após o fim da vida útil das edificações e representam um grande volume de material comumente depositado em aterros

(AKHTAR; SARMAH, 2018; KIM, 2017; SANTOS; TUBINO, 2021). No Brasil são geradas cerca de 100 Mt/ano de RCC, dos quais menos de 20% são recicladas (ABRECON, 2022). Durante o processo de cominuição dos RCC em agregados reciclados, é gerado cerca de 5 a 20% de pó (partículas menores que 0,15 mm) (WANG et al., 2022), um material com alta absorção e baixa reatividade (SHI et al., 2016), o que dificulta sua aplicação.

Esforços recentes na literatura são observados para viabilizar o uso do pó de RCC como material cimentício suplementar ao cimento Portland (DUAN et al., 2020; OLIVEIRA; DEZEN; POSSAN, 2020; TOKAREVA; KAASSAMANI; WALDMANN, 2023), no entanto são necessários alguns tratamentos para melhoria da reatividade e de suas caraterísticas, podendo ser através da ativação mecânica, química (MENG *et al*., 2021) ou térmica (ZHANG *et al*., 2022).

Na ativação mecânica (tratamento mais utilizado), a diminuição do tamanho e aumento da área de superfície das partículas, aumenta as forças de atração intermoleculares de Van der Waals (ZHOU *et al*., 2021) e promove a aglomeração das partículas (OLIVEIRA, 2000; SINGH *et al*., 2022), diminuindo a eficiência do tratamento. Diante dessa problemática, este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência da moagem sobre o tamanho das partículas e a superfície específica (BET) de pós reciclados de Resíduos da Construção Civil (RCC) com o uso de aditivos dispersantes.

2 METODOLOGIA

Este trabalho adotou o procedimento experimental ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Procedimento experimental



Fonte: Autores (2023)

2.1 OBTENÇÃO DOS PÓS DE RCC'S

Foram utilizados como referência o pó de concreto (PC) e o pó misto (PM), obtidos através da cominuição (reciclagem) respectivamente de corpos de prova de concreto com diferentes composições e da areia reciclada mista, composta por materiais cerâmicos e cimentícios, pois de acordo com ULSEN et al.(2010) esse processo não tem influência significativa na composição química do material.

A cominuição dos RCC foi padronizada com o enchimento da máquina de Abrasão de Los Angeles, na velocidade de 30 rpm por duas horas, com 30 kg de material seco em estufa a 40 ±5 °C (SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016), uso de 24 esferas de aço inoxidável, com diâmetro de 48 mm e massa compreendida entre 390 e 445 g. A fração obtida foi submetida a peneiramento, em que as partículas passantes na peneira Mesh 100 (<0,15 mm) foram utilizadas neste estudo.

2.2 TRATAMENTO

Os pós de RCC foram tratados em moinho de bolas planetários PM 100 (Retsch), equipado com jarra de moagem de ágata com 250 cm³, rotação de 500 rpm seguindo o protocolo: enchimento com 60 gramas de pó, 50 esferas de ágata de diâmetro aproximado de 10 mm, o uso de aditivo sobre o pó (PRZIWARA *et al*., 2018) e inversão automatizada de sentido na rotação a cada 15 min com parada de 1 minuto para desaquecimento.

O tratamento dos pós foi dividido em duas etapas (Figura 2), na 1ª etapa utilizou-se o aditivo propilenoglicol ($C_3H_8O_2$) (COSTA; GONÇALVES, 2022), nos teores de 0,05 e 0,1% da massa do pó, avaliando a moagem por 60, 120, 180 e 240 minutos. Na 2ª etapa, buscou-se investigar se a mudança do aditivo, combinado com

teores maiores e moagem em menor tempo poderiam melhorar a eficiência do tratamento. Desse modo, para os aditivos propilenoglicol ($C_3H_8O_2$), hexametafosfato de sódio ($(NaPO_3)_6$) (FLORES *et al.*, 2017) e a trietanolamina ($C_6H_{15}NO_3$) (KATSIOTI *et al.*, 2009), avaliou-se os teores de 0,5% e 1% da massa do pó, para dois tempos (t) de moagem (30 e 60 minutos).

Figura 2: Planejamento experimental

	Aditivo	Teor do aditivo (%)	Tempo de moagem (min)	Pós (<0,15 mm)
1ª ETAPA	Propilenoglicol	0,05 e 0,1	60, 120, 180 e 240	PC e PM
2ª ETAPA	Propilenoglicol	0,5 e 1,0	30 e 60	PC
	Hexametafosfato de sódio			
	Trietanolamina			

Fonte: Autores (2023)

2.3 CARACTERIZAÇÃO

Todos os pós foram caracterizados quanto ao diâmetro médio das partículas e superfície específica BET. A distribuição de tamanho de partículas foi medida por granulômetro a laser da marca CILAS, modelo 1190, em meio líquido (água destilada), sem a presença de dispersante e com índice de obscuração de aproximadamente 25% e a superfície específica foi obtida por adsorção de nitrogênio (método BET) em equipamento Quantachrome, modelo NOVA 3200. Antes da realização do ensaio, as amostras foram submetidas a desgaseificação (emprego de vácuo à 40ºC por 16 horas) (SCRIVENER; SNELLINGS; LOTHENBACH, 2016).

Ainda, os pós de referência, PC e PM (não tratados em moinho de bolas planetários) foram caracterizados quanto à composição química semiquantitativa, em espectrômetro Rigaku modelo ZSX Primus IV, equipado com tubo de Rh, e quanto às características físicas através da massa específica através da NBR 16605 (ABNT, 2017) e a absorção de água seguiu a metodologia proposta por (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 PÓS DE REFERÊNCIA

Verifica-se (Tabela 1), que o principal óxido presente nos pós de concreto (PC) e misto (PM) de RCC's é a sílica (SiO_2) e sua origem está associada, principalmente, aos agregados naturais do concreto e da argamassa presentes no RCC, secundariamente o óxido de cálcio (CaO) que está associado ao aglomerante (pasta de cimento endurecida, cal, gesso, etc.) e a alumina (Al_2O_3) indicando a presença da cerâmica vermelha e do solo no caso do pó misto e, secundariamente, à presença de feldspatos e do cimento, corroborando com o resultado de outras pesquisas (BREKAILO *et al.*, 2019; SALES; ALFERES FILHO, 2014; ULSEN *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2022).

Tabela 1: Composição química dos pós (<0,15 mm) de RCC's

Teor (%)	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	SO_3	LOI (%)
PC	47,20	21,36	8,56	6,94	3,28	2,14	1,36	1,15	0,13	0,22	0,62	7,84
PM	39,55	16,68	12,88	6,65	3,64	1,00	0,28	1,88	< LQ	0,11	0,45	17,08

<LQ = Abaixo do limite quantificável/ LQ = 0.1 % semelhante a FRX da Rigaku.

Fonte: Autores (2023).

As características físicas dos pós podem ser visualizadas na Tabela 2.

Analisando a Tabela 2, com relação ao diâmetro pelo qual passam 50% das partículas (D50), os pós apresentam valores próximos, de 20,99 para o PC e 22,07 para o PM. No entanto, o pó misto apresentou uma maior absorção e superfície específica BET que o pó de concreto, o que pode ser justificado pela presença de maiores partículas finas (D90), e pela composição cerâmica.

Tabela 2: Características físicas dos pós (<0,15 mm) de RCC's

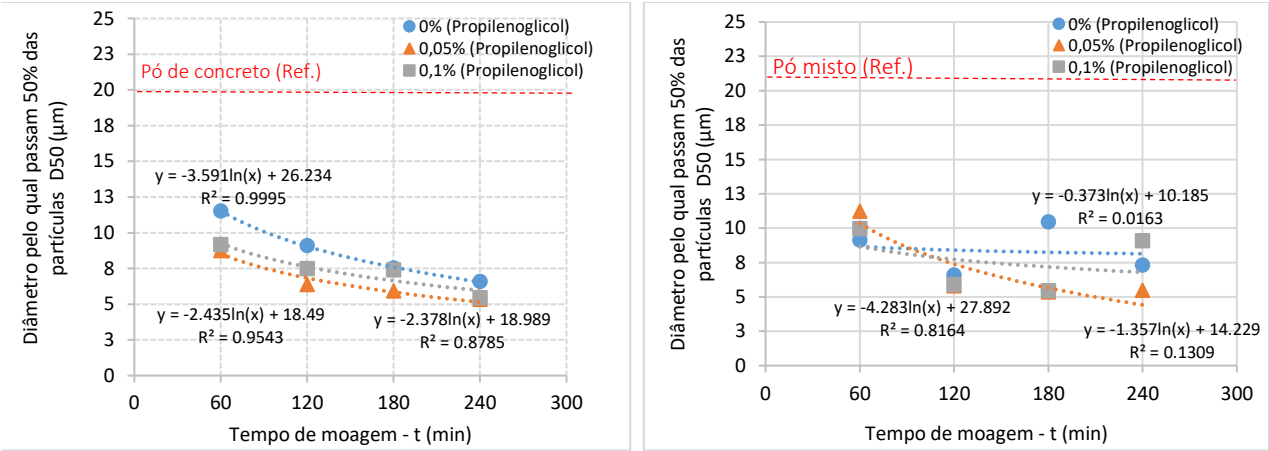
Característica		Método de ensaio	PC	PM
Absorção (%)		Oliveira et al. (2022)	15,38	30,74
Massa específica (g/cm³)		NBR 16605: 2017	2,56	2,56
Diâmetro das partículas	d10	ISO 13220: 2020	1,50	1,308
	d50		20,99	22,071
	d90		75,111	96,347
Superfície específica (m²/g)		ISO 9277:2022	6,23	23,80

Fonte: Autores (2023).

3.2 EFEITO DO TEOR DE ADITIVO DE MOAGEM (ETAPA 1)

Na Figura 3, é possível observar a eficiência da moagem com o aditivo propilenoglicol (Etapa 1) sobre o D50 dos pós.

Figura 3: Eficiência da moagem com o aditivo propilenoglicol em função do D50: a) PC e b) PM



a) b)

Fonte: Autores (2023)

Observa-se (Figura 3) que a moagem com aditivo e sem aditivo produziu partículas com diâmetro D50 na faixa de 5 a 12 µm, o que indica que o tratamento com o aditivo, não foi eficaz visto a pouca variação no tamanho das partículas. No entanto, todos os valores são inferiores que o D50 das referências que foram de 20,99 µm (PC) e 22,07 (PM), ou seja, a moagem deixou os pós mais finos. Nota-se ainda, que a moagem do PM por mais de 120 minutos, provocou uma alteração na tendência de diminuição do D50, o que pode sugerir a aglomeração e necessidade de alteração do teor de aditivos.

Por sua vez, na análise da área superficial (BET), Tabela 3, obteve-se para o intervalo de tempo 60 a 240 minutos, a variação de 3,92 a 5,47 m²/g para os pós de concretos (sem aditivo) e de 4,49 a 5,88 m²/g (com aditivo), enquanto para os pós misto, a variação foi de 16,54 a 18,32 m²/g (sem aditivo) e de 15,58 a 18,87 m²/g (com aditivo). Desse modo, considerando que o pó de concreto e o pó misto (referência) apresentaram respectivamente 6,23 m²/g e 23,80 m²/g, para os tempos de moagem e teores usadas para o aditivo propilenoglicol, o teor do aditivo foi ineficiente pois os resultados foram menores que as referências.

Diante dos resultados e, levando em consideração que o pó misto apresentou uma maior quantidade de partículas finas, maior absorção de água e superfície específica, na etapa 2, optou-se por avaliar a influência de outros aditivos em teores maiores sobre as características físicas do pó de concreto.

3.1 EFEITO DO TIPO DE ADITIVO DE MOAGEM (ETAPA 2)

O efeito sobre o tamanho das partículas do pó de concreto, submetidos a moagem com os aditivos propilenoglicol, hexametafosfato de sódio e trietanolamina, pode ser observada na Tabela 4.

Verifica-se (Tabela 4) que para os mesmos teores e aditivos, o tempo de moagem diminuiu o diâmetro das partículas, com faixa de valores para o D50 variando de 5,74 a 10,35 µm para a moagem com propilenoglicol, 7,63 a 9,46 µm com o hexametafosfato de sódio e 6,93 a 9,19 µm com a trietalonamina, ou seja, o aditivo

propilenoglicol pode ser considerado o mais eficiente (mais fino). Para fins de comparação, na Figura 4 tem-se a eficiência da moagem em função do D50.

Tabela 3: Superfície específica (BET) dos pós (<0,15 mm) de RCC's moídos com propilenoglicol

T (min)	Teores de aditivo [a] (%)	Superfície específica (m²/g)	
		Pó de concreto (PC)	Pó misto (PM)
0	0	6,23	23,80
60	0	5,47	18,32
120		5,51	17,06
180		3,92	16,54
240		4,75	16,55
60	0,05	5,22	18,87
120		5,69	17,00
180		4,49	15,58
240		4,89	16,82
60	0,1	5,19	18,29
120		5,88	18,11
180		4,50	16,97
240		5,19	17,14

[a]Em relação a massa do pó de RCC's.

Fonte: Autores (2023)

Tabela 4: Tamanho das partículas dos pós (<0,15 mm) de concreto moídos com diferentes aditivos

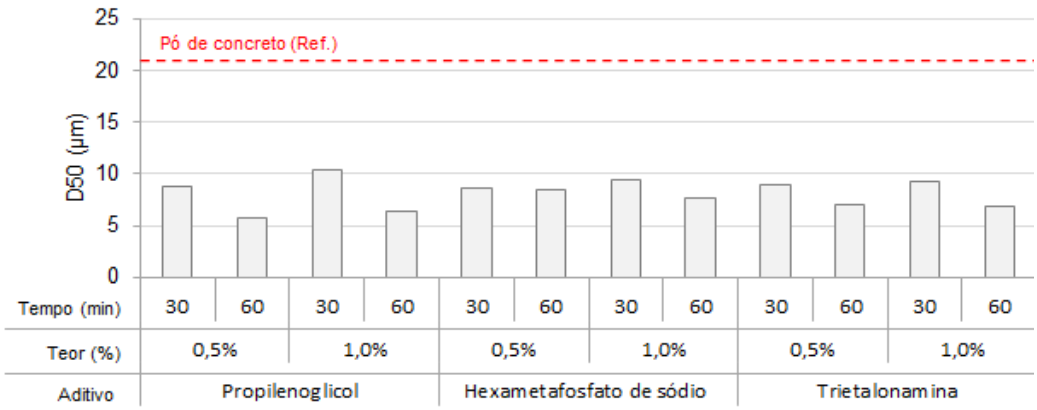
T (min)	Teores de aditivo [a] (%)	Propilenoglicol				Hexametafosfato de sódio				Trietalonamina			
		Diâmetro da partícula (µm)				Diâmetro da partícula (µm)				Diâmetro da partícula (µm)			
		D10	D50	D90	Dmédio	D10	D50	D90	Dmédio	D10	D50	D90	Dmédio
30	0,5	0,87	8,85	43,18	17,63	0,88	8,66	49,73	19,76	0,87	8,89	46,78	18,85
60		0,81	5,74	28,72	11,76	0,88	8,50	41,58	16,99	0,84	7,08	39,24	15,72
30	1,0	0,92	10,35	48,86	20,04	0,90	9,46	47,48	19,28	0,87	9,19	47,55	19,20
60		0,84	6,31	30,05	12,40	0,85	7,63	44,08	17,52	0,85	6,93	38,93	15,57

[a] Em relação a massa do pó de RCC's.

Fonte: Autores (2023)

Assim como na Etapa 1, verifica-se (Figura 4) que o tratamento no moinho de bolas planetários é uma maneira eficiente de reduzir o tamanho das partículas dos pós de concreto, visto que o PC antes do tratamento apresentava um D50 igual a 20,99 µm, e com a moagem por 60 minutos com 0,5% de aditivo propilenoglicol obteve-se um D50 igual a 6,31 µm.

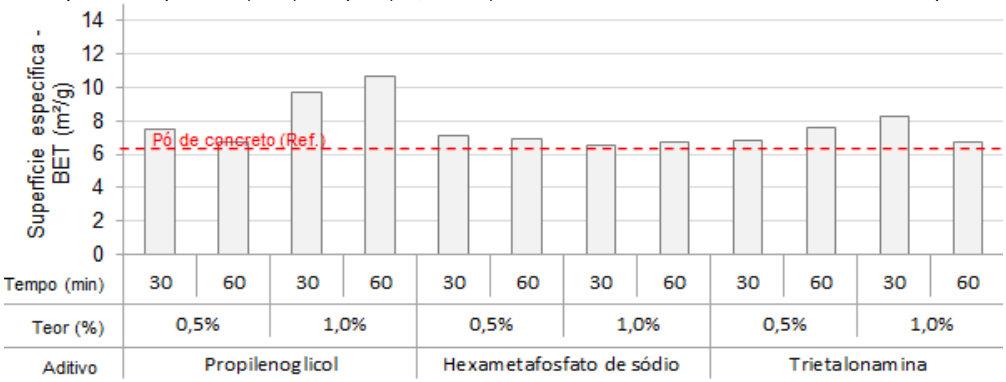
Figura 4: Eficiência da moagem (Etapa 2) em função do D50 para diferentes teores e tipos de aditivos



Fonte: Autores (2023)

A superfície específica (BET), para os pós de concreto submetidos a moagem em moinho de bolas planetários na etapa 2 pode ser observada na Figura 5.

Figura 5: Superfície específica (BET) dos pós (<0,15 mm) de concreto moídos com diferentes teores e tipos de aditivos



Fonte: Autores (2023)

Como observado (Figura 5**)**, todos os tratamentos de moagem aplicados na Etapa 2, produziram partículas com superfícies específicas maiores que o pó de referência, sendo que a moagem por 60 minutos na presença do aditivo propilenoglicol no teor de 1% apresentou o maior valor e igual a 10,65 m²/g, um aumento de 58,50 % quando comparado ao PC (sem tratamento).

CONCLUSÃO

Verifica-se que o moinho de bolas planetário combinado com aditivos dispersantes é um tratamento eficiente para moer pós (< 0,15 mm) de concreto, visto que foi possível diminuir o tamanho das partículas e aumentar a superfície específica. Indica-se como melhor tratamento a moagem por 60 minutos, e o uso do aditivo propilenoglicol no teor de 1%.

Para a moagem dos pós (< 0,15 mm) de origem mista (cerâmica e concreto), outros teores de aditivos devem ser avaliados, caso haja a necessidade de pós mais finos (menores D50, e maiores superfícies específicas) verificados neste trabalho.

Por fim, tornam-se necessários analisar as emissões de CO_2 (impacto ambiental) e os gastos monetários (impacto econômico) associados a tratamento de moagem e comparar com o desempenho dos pós de RCC como material cimentício suplementar, através de ensaios físico-mecânicos e químicos.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais (LADEMA) – UNILA, pelo suporte laboratorial e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Chamada CNPq/MCTI/FNDCT Nº 18/2021 - Faixa B - Grupos Consolidados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de JaneiroAssociação Brasileira de Normas Técnicas, , 2017.

ABRECON. **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. [s.l: s.n.].

AKHTAR, A.; SARMAH, A. K. Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 262–281, 2018.

BREKAILO, F. et al. Evaluation of the reactive potential of additions of red ceramic waste and comminuted concrete of CDW in cement matrix. **Ceramica**, v. 65, n. 375, p. 351–358, 2019.

COSTA, A. R. D.; GONÇALVES, J. P. Milling parameters and solid waste characterisation to use as supplementary cementitious materials. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 4, p. 35–48, 2022.

DUAN, Z. et al. Combined use of recycled powder and recycled coarse aggregate derived from construction and demolition

waste in self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 254, p. 119323, set. 2020.

FLORES, Y. C. et al. Performance of Portland cement pastes containing nano-silica and different types of silica. **Construction and Building Materials**, v. 146, p. 524–530, 2017.

KATSIOTI, M. et al. Characterization of various cement grinding aids and their impact on grindability and cement performance. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 5, p. 1954–1959, 2009.

KIM, Y. Quality properties of self-consolidating concrete mixed with waste concrete powder. **Construction and Building Materials**, v. 135, p. 177–185, mar. 2017.

MENG, T. et al. Comparison of technical properties of cement pastes with different activated recycled powder from construction and demolition waste. **Cement and Concrete Composites**, v. 120, n. March, p. 104065, 2021.

OLIVEIRA, D. R. B. et al. Pó de resíduo misto de construção como material cimentício suplementar: estudo em pastas empacotadas. **Xix Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, v. 19, p. 1–14, 2023.

OLIVEIRA, I. R. ET AL. **Dispersão e empacotamento de partículas**. Fazendo Ar ed. São Paulo: Fazendo Arte, 2000.

OLIVEIRA, T. C. F.; DEZEN, B. G. S.; POSSAN, E. Use of concrete fine fraction waste as a replacement of Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 123126, 2020.

PRZIWARA, P. et al. Impact of grinding aids and process parameters on dry stirred media milling. **Powder Technology**, v. 335, p. 114–123, 2018.

SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. DOS S. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 113–125, 2014.

SANTOS, R. P.; TUBINO, R. Potential evaluation of the use of construction and demolition waste (CDW) in the recovery of degraded soils by mining in Brazil. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 12, p. 200060, dez. 2021.

SCRIVENER, K.; SNELLINGS, R.; LOTHENBACH, B. **A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials**. [s.l: s.n.].

SHI, C. et al. Performance enhancement of recycled concrete aggregate - A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 466–472, 2016.

SINGH, A. et al. Evaluation and comparison of mineralogical, micromeritics and rheological properties of waste machining chips, coal fly ash particulates with metal and ceramic powders. **Powder Technology**, v. 408, p. 117696, ago. 2022.

TOKAREVA, A.; KAASSAMANI, S.; WALDMANN, D. Fine demolition wastes as Supplementary cementitious materials for CO2 reduced cement production. **Construction and Building Materials**, v. 392, n. June, p. 31–35, 2023.

ULSEN, C. et al. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do Estado de São Paulo (Chemical composition of mixed construction and demolition recycled aggregates from the State of São Paulo). **Mineração**, v. 63, n. 2, p. 339–346, 2010.

WANG, L. et al. Eco-friendly treatment of recycled concrete fines as supplementary cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 322, n. November 2021, p. 126491, 2022.

ZHANG, D. et al. Comparison of mechanical, chemical, and thermal activation methods on the utilisation of recycled concrete powder from construction and demolition waste. **Journal of Building Engineering**, v. 61, p. 105295, dez. 2022.

ZHOU, L. et al. Influence of recycled concrete powder (RCP) and recycled brick powder (RBP) on the physical/mechanical properties and durability of raw soil. **Coatings**, v. 11, n. 12, 2021.