



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO REGIONAL - PPGMADRE**

FÁBIO FRIOL GUEDES DE PAIVA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO FINO E ÁGUA DE
AMASSAMENTO POR RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE
ARGAMASSA E CONCRETO ALTERNATIVO**

Presidente Prudente - SP
2022



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO REGIONAL - PPGMADRE**

FÁBIO FRIOL GUEDES DE PAIVA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO FINO E ÁGUA DE
AMASSAMENTO POR RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE
ARGAMASSA E CONCRETO ALTERNATIVO**

Tese apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (PPGMADRE). - Área de Concentração: Ciências Ambientais.
Linha I: Avaliação e Análise de Impacto Ambiental

Orientadora:
Profa. Dra. Angela Mitie Otta Kinoshita
Coorientação:
Profa. Dra. Adela Perez Galvín

FÁBIO FRIOL GUEDES DE PAIVA

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO FINO E ÁGUA DE AMASSAMENTO POR RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO ALTERNATIVO


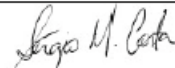
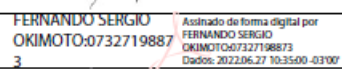
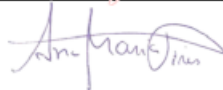
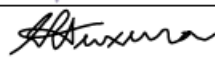
Tese apresentada à Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional (PPGMADRE).

Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Linha I: Avaliação e Análise de Impacto Ambiental

Presidente Prudente, 20 de junho de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Nome	Conceito	Assinatura
Dra. Angela Mitie Otta Kinoshita	Aprovado	
Dr. Sérgio Marques Costa	Aprovado	
Dr. Fernando Sérgio Okimoto	Aprovado	 FERNANDO SERGIO OKIMOTO:0732719887 3 Assinado de forma digital por FERNANDO SERGIO OKIMOTO:07327198873 Data: 2022.06.27 10:35:00 -03'00'
Dra. Ana Maria Pires	Aprovado	
Dr. Silvio Rainho Teixeira	Aprovado	

624.189 9 Paiva, Fábio Friol Guedes de
P149i Influência da substituição de agregado fino e água de amassamento por
resíduos industriais na produção de argamassa e concreto alternativo. /
Fábio Friol Guedes de Paiva. – Presidente Prudente, 2022.
93 f.: il.

Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade do Oeste
Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2022.
Bibliografia.

Orientadora: Profa. Dra. Angela Mitie Otta Kinoshita
Coorientadora: Profa. Dra. Adela Perez Galvín

1. Areia descartada de fundição . 2. Vinhaça da cana-de-açúcar. 3.
Durabilidade . 4. Lixiviação . 5. Compósitos cimentícios. I. Título

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Profa. Dra. Angela Kinoshita pela orientação e por todo o apoio dado para o desenvolvimento e execução desse trabalho, além de toda paciência para me orientar nas mais diversas situações. Também agradecimento em especial aos doutorandos Jacqueline Tamashiro e Lucas H. P. Silva pela contribuição com a minha pesquisa, amizade diária e dias imersos no laboratório. Não menos importantes, a todos os alunos de iniciação científica que contribuíram com a minha pesquisa e me ajudaram no laboratório ao longo desses anos.

Agradeço ao Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira pela sua indispensável colaboração na pesquisa, sempre de portas abertas para me receber em seu laboratório. Agradeço de maneira imensurável ao meu amigo Luis Fernando que contribuiu em todas as minhas análises no laboratório do Prof. Silvio, sempre disposto a realizar os ensaios da forma mais rápida possível.

Agradecimento especial aos professores Adela Perez Galvín e Antonio Lopez Uceda pela recepção e colaboração diária durante o período Sanduíche do meu doutorado, na Universidad de Córdoba, Córdoba, Espanha.

Agradeço também aos professores Aldo Eloizo Job e Flávio Camargo Cabrera que me orientaram durante o mestrado e me abriram os olhos à pesquisa científica que era algo totalmente novo para mim, possibilitando novas oportunidades em minha vida. E claro, a todos os meus amigos do LTBA da UNESP, em especial ao Guilherme Dognani que sempre me salva quando preciso de todo tipo de ajuda que envolva Química.

Ao Eng. Ederson Del Castilho, por ter me orientado e acompanhado nos cálculos e execuções do traço de concreto, bem como todas as dúvidas que surgiam no decorrer do meu doutorado.

Também não posso deixar de agradecer ao corpo técnico da UNOESTE, em especial ao Isac Moura do Laboratório de Engenharia Civil e ao Daniel Ângelo Macena do Laboratório da Química pela imensa contribuição no decorrer da pesquisa.

A todos os familiares por acreditarem em mim e incentivarem a continuar mesmo diante de todos os desafios e adversidades.

Por fim agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio à diversas pesquisas em todo o Brasil, bem como à minha pesquisa de doutorado, mostrando que a pesquisa é pilar fundamental no

desenvolvimento científico e tecnológico de qualquer lugar. Agradeço também pelo financiamento deste trabalho por meio da bolsa no Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE (proc. 88881.622695/2021-01).

APRESENTAÇÃO

O doutorando Fábio Friol Guedes de Paiva possui formação em Arquitetura e Urbanismo (2016) pela Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) e mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais (2018) pela Universidade Estadual Paulista. No mestrado foi a primeira oportunidade de trabalhar com pesquisa científica e desenvolvimento de novos materiais, no qual atuou como pesquisador no grupo de pesquisa do Laboratório de Tecnologia de Borrachas e Aplicações (LTBA), com a aplicação de resíduos agroindustriais de bagaço da cana-de-açúcar em compósitos poliméricos de borracha natural, bem como contribuição com pesquisas envolvendo diversos resíduos também em compósitos poliméricos, tal como: dregs da indústria de celulose, cinza da cana-de-açúcar e carbonato de cálcio. Assim, desenvolvendo afinidade e conhecimento para elaboração de pesquisas com foco ambiental no reuso de resíduos. Atualmente é doutorando em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional pela Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), parte do Grupo de Pesquisa Ambiente e Tecnologia, com período Sanduíche na Universidad de Córdoba, Espanha. Nesse período de doutoramento foi dada continuidade na aplicação de resíduos industriais, porém com foco em aplicações para construção civil, agora investigando novos materiais de argamassa e concreto alternativo com o uso de areia descartada de fundição (ADF) contaminado com ligantes químicos e líquido residual de vinhaça da cana-de-açúcar. De modo geral, resíduos industriais são classificados como resíduos nocivos ao meio ambiente, sendo a pesquisa científica uma forma de investigar se a sua aplicação possibilita novos materiais não apenas com propriedades satisfatórias, mas também se são duráveis e se apresentam riscos ao meio ambiente quando chegar ao final da sua vida útil. Além disso, o uso de resíduos em substituição a materiais comumente utilizados na construção civil (cimento, areia, água e brita) possibilita a redução do consumo de materiais naturais não renováveis e cada vez mais escassos, contribuindo com a conservação ambiental. No decorrer do doutorado o pesquisador atuou junto a outros pesquisadores, o que gerou publicações científicas relevantes envolvendo materiais cimentícios com a substituição de areia natural e cimento por diversos resíduos, tal como: cerâmica vermelha, areia descartada de fundição, cinza do bambu e revisão sistemática de literatura publicada sobre diversos resíduos inorgânicos industriais.

RESUMO

Influência da substituição de agregado fino e água de amassamento por resíduos industriais na produção de argamassa e concreto alternativo

O aumento da demanda por mais espaços nos aterros sanitários industriais e o correto manejo para destinação final de resíduos exigem novas alternativas tecnológicas para o seu reaproveitamento. Neste sentido, visando reduzir o consumo de água potável e areia de rio na construção civil, foram produzidos argamassas e concretos com areia de rio substituída por 0, 25 e 50% de Areia Descartada de Fundição (ADF) contaminada com resina fenólica, bem como água de amassamento por vinhaça da cana-de-açúcar (0, 20, 40, 60, 80 e 100% de substituição). Foram usadas três ADF, sendo nomeadas pela quantidade de resina presente, sendo ADF1 (baixo teor de resina), ADF2 (alto teor de resina) e ADF2T (alto teor de resina tratado). Inicialmente esses resíduos foram estudados de forma isolada em argamassa (menor escala), a fim de avaliar sua influência nas propriedades morfológicas e físico-mecânicas dos materiais desenvolvidos e, posteriormente, as proporções com melhores desempenhos foram aplicadas na produção de um novo concreto alternativo. Os resultados demonstraram que a vinhaça da cana-de-açúcar, devido a presença de sacarose em sua composição, resultou no retardo de endurecimento quando usado em até 20% de substituição à água, além do aumento de trabalhabilidade, em proporções a partir de 60%. Em adição, os resultados mecânicos das argamassas com até 60% de substituição mostraram desempenhos similares à argamassa controle nos períodos de 28 e 91 dias de cura. Ensaio de durabilidade mostraram que a sacarose contribui com a redução da perda de água no processo de hidratação, reduzindo os poros acessíveis e a penetração suscetível às intempéries, resultando em materiais mais duráveis. A substituição de areia de rio por diferentes ADF demonstrou que a maior quantidade de contaminante químico na partícula de ADF2 foi o fator principal para a redução acentuada da resistência mecânica (até 50%), pois as partículas de areia envolvidas com resina apresentam baixa aderência com a matriz cimentícia. Testes de lixiviação mostraram que a resina fenólica presente na ADF apresenta níveis acima dos limites normativos para ADF2 e ADF2T. No entanto, quando analisado as argamassas rompidas e trituradas, observou-se que a matriz cimentícia alcalina contribuiu para uma liberação ainda maior de fenóis totais. Por fim, foram desenvolvidos concretos com ambos resíduos para aplicação estrutural. Utilizando 60% de vinhaça em substituição à água e 25% de ADF2T em substituição à areia natural, conforme os resultados prévios, obteve-se um concreto com 94% da resistência mecânica em comparação ao concreto controle, com trabalhabilidade entre 10 e 16 cm e baixa porosidade, podendo ter aplicação estrutural com lançamento convencional do concreto (ABNT NBR 8953:2015), bem como alguns tipos de pavimentos e elementos de fundações. Conclui-se que esses resíduos industriais apresentam propriedades mecânicas satisfatórias para aplicação em argamassas e concretos alternativos. Porém, tratamentos mais eficientes devem ser estudados para a remoção total da resina fenólica da ADF, possibilitando sua aplicação em materiais cimentícios.

Palavras-chave: areia descartada de fundição; vinhaça da cana-de-açúcar; durabilidade; lixiviação; compósitos cimentícios.

ABSTRACT

Influence of the replacement of fine aggregate and water by industrial waste on the production of mortar and alternative concrete

The increasing demand for more spaces in industrial sanitary landfills and the correct management for final disposal of waste require new technological alternatives for its reuse. In this sense, aiming to reduce the consumption of drinking water and river sand in civil construction, mortars and concrete were produced with river sand replaced by 0, 25 and 50% of Waste Foundry Sand (ADF) contaminated with phenolic resin, as well as mixing water by sugarcane vinasse (0, 20, 40, 60, 80 and 100% replacement). Three ADFs were used, being named by the amount of resin present, being ADF1 (low resin content), ADF2 (high resin content) and ADF2T (high resin content treated). Initially these residues were studied separately, in mortar (smaller scale), in order to evaluate their influence on the morphological and physical-mechanical properties of the mortars and later, the proportions with the best performances were applied in the production of a new alternative concrete. The results showed that sugarcane vinasse, due to the presence of sucrose in its composition, resulted in a delay in hardening when used in up to 20% for water replacement, in addition to increased workability, in proportions higher than 60 %. In addition, the mechanical results of the mortars with up to 60% replacement showed similar performances to the control mortar in the periods of 28 and 91 days of curing. Durability tests showed that sucrose contributes to the reduction of water loss in the hydration process, reducing accessible pores and penetration susceptible to weathering, resulting in more durable materials. The substitution of river sand for different ADF showed that the greater amount of chemical contaminant in the ADF2 particle was the main factor for the marked reduction of the mechanical resistance (up to 50%), since the sand particles involved with resin present low adhesion with the cement matrix. Leaching tests showed that the phenolic resin present in the ADF presents levels above the normative limits for ADF2 and ADF2T. However, when analyzing the broken and crushed mortars, it was observed that the alkaline cement matrix contributed to an even greater release of total phenols. Finally, concretes were developed with both residues for structural application. Using 60% vinasse replacing water and 25% of ADF2T replacing natural sand, according to previous results, a concrete with 94% of the mechanical strength compared to the control concrete was obtained, with workability between 10 and 16 cm and low porosity, being able to have structural application with conventional concrete (ABNT NBR 8953:2015), as well as some types of pavements and elements of foundations. It is concluded that these industrial residues present satisfactory mechanical properties for application in mortars and alternative concretes. However, more efficient treatments should be studied for the total removal of the phenolic resin from the ADF, allowing its application in cementitious materials.

Keywords: waste foundry sand; sugarcane vinasse; durability; leaching; cement composites.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIFA	Associação Brasileira de Fundição
ADF	Areia Descartada de Fundição
ADFC	Areia Descartada de Fundição Calcinada
AR	Açúcares Redutores
ART	Açúcares Redutores Totais
ASTM	American Society for Testing and Materials (Associação Americana de Testes e Materiais)
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
C ₃ S	Silicato Tricálcico – 3CaO:SiO ₂ :H ₂ O
C ₂ S	Silicato Dicálcico – 2CaO:SiO ₂ :H ₂ O
C ₃ A	Aluminato Tricálcico – Al ₂ O ₃ :3CaO
CH	Hidróxido de Cálcio – Ca(OH) ₂
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado – CaO:SiO ₂ :H ₂ O
DRX	Difração de Raios X
DSC	Differential Scanning Calorimetry (Calorimetria Exploratória Diferencial)
EDS	Espectroscopia Dispersivas de Raios X
FRX	Fluorescência de Raios X
FTIR	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (Infravermelho por Transformada de Fourier)
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
TS EN	European Norms (Normas Europeias)
VCA	Vinhaça da Cana-de-açúcar

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquema com os ensaios realizados para caracterização dos materiais; circundado por Verde corresponde aos ensaios para o Artigo 01, com uso de VCA; circundado por vermelho corresponde aos ensaios para o Artigo 02, com uso de ADF.....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2 - Fôrma colapsável de areia para fundição de metais.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3 - Etapas para produção de fôrma colapsável de areia para fundição de metais.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4 - Vinhaça da Cana-de-açúcar.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5 - Influência da VCA na trabalhabilidade das argamassas. Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$, Kruskal Wallis, Student-Newman Keuls).....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6 - Água requerida e tempo de pega das pastas de cimento com variação de água substituída por água residual de vinhaça de cana-de-açúcar. ... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 7 - Influência da VCA na resistência à compressão de compósitos aos 7, 28 e 91 dias. Letras diferentes em cada período indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$, ANOVA, Tukey).**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 8 - Influência da VCA na resistência à flexão de compósitos aos 7, 28 e 91 dias. Letras diferentes em cada período indicam diferenças estatisticamente significativas ($p < 0.05$, ANOVA, Tukey).....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 9 - Difrátogramas de Raios X (PDF 23-1044, 13-209 e 84-1268) das pastas de cimento controle e com 20% e 60% de substituição de água por VCA em 2 h, 5 h, 24 h, 7 e 28 dias. CH (hidróxido de cálcio), C_3S (silicato tricálcico) e C_2S (silicato dicálcico).**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 10 - Teste de Retração de CC-0, VCA-20 e VCA-60.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 11 - Absorção de água por capilaridade de CC-0, VCA-20 e VCA-60 com 7 e 28 dias de hidratação.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 12 - Profundidade de carbonatação com exposição de 3, 7 e 14 dias. **Erro! Indicador não definido.**

- Figura 13 - Influência da VCA na resistência à compressão dos concretos aos 28 dias.
..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 14 - Métodos e fases experimentais desenvolvidos para a avaliação do comportamento de lixiviação. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 15 - Curva granulométrica da areia natural, ADF1 e ADF2. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 16 - Imagens de MEV e EDS da ADF1, ADF2, ADF2T. As imagens da segunda coluna são de maior amplitude das regiões delimitadas em amarelo. Os círculos vermelhos são regiões com presença de resina fenólica da ADF.
..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 17 - Influência da ADF na resistência à compressão dos compósitos de 7 e 28 dias de cura, com substituição de 0%, 25% e 50% de areia natural por ADF com e sem ajuste de água. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 18 - Influência da ADF na resistência à flexão dos compósitos de 7 e 28 dias de cura, com substituição de 0%, 25% e 50% de areia natural por ADF com e sem ajuste de água. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 19 - Imagens de MEV das argamassas (a) controle, (b) ADF1-50%-315, (c) ADF2-50%-315 e (d) ADF2T-50%-315. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 20 - Equipamento Vicat, com sonda para medida de consistência. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 21 - Equipamento com agulha de Vicat para penetração das pastas de cimento.
..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 22 - Mesa de consistência para argamassas. ... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 23 - Cone de abatimento. **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Caracterizações dos agregados graúdo e miúdo.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 2 - Proporções da mistura das argamassas.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 3 - Proporções da mistura dos concretos.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 4 - Composição química do cimento Portland (CP V – ARI) e VCA. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 5 - Teor de sacarose na VCA e em peso de cimento.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 6 - Resultados do teste ANOVA de duas vias de acordo com o teste mecânico.
.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 7 - Contribuição estatística para as propriedades mecânicas de cada fator.
.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 8 - Absorção de água e índice de vazios dos compósitos cimentícios. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 9 - pH das amostras de argamassas com 365 dias de cura.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 10: Teste de abatimento de cone dos concretos com e sem VCA. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 11 - Absorção de água, índice de vazios e densidade aparente dos concretos.
.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 12 - Composição química do cimento Portland (CP V – ARI).**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 13 - Proporções da mistura das argamassas. ..**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 14 - Composição química (%) da areia natural e das tipologias de ADF.. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 15 - Concentrações de lixiviado (mg/kg) por teste de lixiviação de conformidade para partículas de ADF.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 16 - Influência da substituição de areia natural por ADF na trabalhabilidade dos compósitos cimentícios.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 17 - Absorção de água e índice de vazios da argamassa controle e com substituição de areia natural por ADF com 28 dias de cura. **Erro! Indicador não definido.**

- Tabela 18 - Concentrações de lixiviado (mg/kg) por teste de lixiviação de conformidade para partículas de ADF.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 19 - Caracterizações dos agregados graúdo e miúdo.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 20 - Proporções da mistura das argamassas. ..**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 21 - Proporções da mistura dos concretos.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 22 - Trabalhabilidade das argamassas com VCA e ADF em diferentes proporções.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 23 - Resistência à flexão das argamassas com VCA e ADF em diferentes proporções e com 28 dias de cura.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 24 - Resistência à compressão das argamassas com VCA e ADF em diferentes proporções e com 28 dias de cura.**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 25 - Propriedades físico-mecânico do concreto com VCA e ADF com 28 dias de cura.**Erro! Indicador não definido.**

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	Erro! Indicador não definido.
1 BREVE REVISÃO DE LITERATURA	Erro! Indicador não definido.
1.1 Fundição	Erro! Indicador não definido.
1.1.1 Processo de Fundição com Moldes Colapsáveis de Areia.....	Erro! Indicador não definido.
1.1.2 Areia Descartada de Fundição	Erro! Indicador não definido.
1.1.3 Estudos de ADF com Ligante Físico.....	Erro! Indicador não definido.
1.1.4 Estudos de ADF com Ligante Químico.....	Erro! Indicador não definido.
1.2 Vinhaça da cana-de-açúcar	Erro! Indicador não definido.
1.2.1 Aplicação de Líquidos Residuais na Construção Civil.....	Erro! Indicador não definido.
2 OBJETIVOS.....	Erro! Indicador não definido.
2.1 Objetivo geral.....	Erro! Indicador não definido.
2.2 Objetivos específicos.....	Erro! Indicador não definido.
CAPÍTULO 1 - PROPRIEDADES MECÂNICAS E DE DURABILIDADE DE ARGAMASSA E CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL POR VINHAÇA DA CANA-DE-AÇÚCAR	Erro! Indicador não definido.
CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO COM PRESENÇA DE RESINA FENÓLICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS	Erro! Indicador não definido.
CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO FINO E ÁGUA DE AMASSAMENTO POR RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO ALTERNATIVO.....	Erro! Indicador não definido.
CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICES.....	Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE 1 - Método Lane-Eynon.....	Erro! Indicador não definido.

APÊNDICE 2 - Método para avaliação da consistência e tempo de pega das pastas de cimento.....Erro! Indicador não definido.

APÊNDICE 3 – Ensaio de mesa de consistência e abatimento de coneErro! Indicador não definido.

REFERÊNCIAS

- [1] B.B. Aneesh, N.R. Shivaprasad, K.N. Das, Life cycle energy analysis of a metro station building envelope through computer based simulation, *Sustain. Cities Soc.* 39 (2018) 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.006>.
- [2] R.G. Arnold, A.E. Sáez, S. Snyder, S.K. Maeng, C. Lee, G.J. Woods, X. Li, H. Choi, Direct potable reuse of reclaimed wastewater: it is time for a rational discussion, *Rev. Environ. Health.* 27 (2012). <https://doi.org/10.1515/reveh-2012-0027>.
- [3] F. Pomponi, A. Stephan, Water, energy, and carbon dioxide footprints of the construction sector: A case study on developed and developing economies, *Water Res.* 194 (2021) 116935. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116935>.
- [4] V. Nehring, R. Silva Menezes, L. Henrique Pereira Silva, J. Roberta Tamashiro Berguerand Xavier, F. Friol Guedes de Paiva, A. Mitie Otta Kinoshita, INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE VINHAÇA NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS NO ESTADO FRESCO, *Colloq. EXACTARUM.* 12 (2020) 38–44. <https://doi.org/10.5747/ce.2020.v12.n2.e317>.
- [5] L.F. dos F. do. Santos, R.S.S. Magalhães, S.S.S. Barreto, G.T.A.T.A. Santos, F.F.G.F.G. de Paiva, A.E.E. de Souza, S.R.R. Teixeira, Characterization and reuse of spent foundry sand in the production of concrete for interlocking pavement, *J. Build. Eng.* 36 (2021) 102098. <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102098>.
- [6] J.R. Tamashiro, A. Kinoshita, L.H. Pereira Silva, F. Friol Guedes de Paiva, P.A. Antunes, R.D. Simões, Compressive resistance of concrete produced with recycled concrete aggregate and sugarcane vinasse waste-water, *Clean. Eng. Technol.* 6 (2022) 100362. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100362>.
- [7] P.R. de Matos, R. Pilar, L.H. Bromerchenkel, R.A. Schankoski, P.J.P. Gleize, J. de Brito, Self-compacting mortars produced with fine fraction of calcined waste foundry sand (WFS) as alternative filler: Fresh-state, hydration and hardened-state properties, *J. Clean. Prod.* 252 (2020) 119871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119871>.
- [8] L.N. Assi, E. (Eddie) Deaver, P. Ziehl, Using sucrose for improvement of initial and final setting times of silica fume-based activating solution of fly ash geopolymer concrete, *Constr. Build. Mater.* 191 (2018) 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.199>.
- [9] B. Ali, L.A. Qureshi, Durability of recycled aggregate concrete modified with sugarcane molasses, *Constr. Build. Mater.* 229 (2019) 116913. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116913>.
- [10] G. Huang, D. Pudasainee, R. Gupta, W.V. Liu, Utilization and performance evaluation of molasses as a retarder and plasticizer for calcium sulfoaluminate cement-based mortar, *Constr. Build. Mater.* 243 (2020) 118201. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118201>.
- [11] R. Siddique, G. Singh, R. Belarbi, K. Ait-Mokhtar, Kunal, Comparative investigation on the influence of spent foundry sand as partial replacement of fine aggregates on the properties of two grades of concrete, *Constr. Build. Mater.* 83 (2015) 216–222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.011>.
- [12] R. Siddique, G. Singh, M. Singh, Recycle option for metallurgical by-product (Spent Foundry Sand) in green concrete for sustainable construction, *J. Clean. Prod.* 172 (2018) 1111–1120. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.255>.
- [13] G. Sebki, B. Safi, K. Chahour, Recycling of Foundry Sand Wastes in Self-

- Compacting Mortars: Use as Cementitious Materials and Fine Aggregates, *J. Appl. Eng. Sci.* 9 (2019) 195–200. <https://doi.org/10.2478/jaes-2019-0027>.
- [14] M. Nithya, A.K. Priya, R. Muthukumaram, G.K. Arunvivek, Properties of concrete containing waste foundry sand for partial replacement of fine aggregate in concrete, *Indian J. Eng. Mater. Sci.* 24 (2017) 162–166.
- [15] M.A. Mastella, E.S. Gislou, F. Pelisser, C. Ricken, L. da Silva, E. Angioletto, O.R.K. Montedo, Mechanical and toxicological evaluation of concrete artifacts containing waste foundry sand, *Waste Manag.* 34 (2014) 1495–1500. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.001>.
- [16] Y. Zhang, T. Sappinen, L. Korkiala-Tanttu, M. Vilenius, E. Juuti, Investigations into stabilized waste foundry sand for applications in pavement structures, *Resour. Conserv. Recycl.* 170 (2021) 105585. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105585>.
- [17] R. Scheunemann, *Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton*, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2005.
- [18] ABIFA, *Anuário ABIFA 2021: Guia ABIFA de fundição*, Assoc. Bras. Fundição. (2021).
- [19] SRD, *Global casting production worldwide, 2018 to 2020*, Stat. Res. Dep. (2022). <https://www.statista.com/statistics/237526/casting-production-worldwide-by-country/>.
- [20] B.P. Casotti, E.D.B. Filho, P. Castro, *Indústria de fundição: situação atual e perspectivas - BNDES Setorial*, (2011) 121–162.
- [21] L.M.G. KLINSKY, *Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos*, Universidade de São Paulo, 2013.
- [22] A.F.G. SADE;, *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016 - Hotel Holiday Inn – Natal – RN – Brasil Normas de envio para os anais*, (2016) 2–5.
- [23] G. Singh, R. Siddique, Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete, *Constr. Build. Mater.* 26 (2012) 416–422. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.041>.
- [24] R. Siddique, G. Kaur, A. Rajor, Waste foundry sand and its leachate characteristics, *Resour. Conserv. Recycl.* 54 (2010) 1027–1036. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.006>.
- [25] B. Coutinho Neto, *Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas*, Universidade de São Paulo, 2004. <https://doi.org/10.11606/T.18.2004.tde-10022011-101639>.
- [26] *Modern Casting, Census of World Casting Production: Global Casting Production Growth Stalls*, (2019).
- [27] ABIFA, *Anuário ABIFA 2015: Guia ABIFA de fundição.*, Associação Brasileira de Fundição, Piracicaba, 2015.
- [28] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, The World Bank, 2018. <https://doi.org/doi:10.1596/978-1-4648-1329-0>.
- [29] NBR 10004:2004, *Solid waste – Classification*, Rio de Janeiro, Brazil, 2004.
- [30] G.J.L. Coppio, M.G. de Lima, J.W. Lencioni, L.S. Cividanes, P.P.O.L. Dyer, S.A. Silva, Surface electrical resistivity and compressive strength of concrete with the use of waste foundry sand as aggregate, *Constr. Build. Mater.* 212 (2019) 514–521. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.297>.

- [31] G. Sua-lam, N. Makul, S. Cheng, P. Sokrai, Workability and compressive strength development of self-consolidating concrete incorporating rice husk ash and foundry sand waste – A preliminary experimental study, *Constr. Build. Mater.* 228 (2019) 116813. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116813>.
- [32] S. Çevik, T. Mutuk, B.M. Oktay, A.K. Demirbaş, Mechanical and microstructural characterization of cement mortars prepared by waste foundry sand (WFS), *J. Aust. Ceram. Soc.* 53 (2017) 829–837. <https://doi.org/10.1007/s41779-017-0096-9>.
- [33] P.R. de Matos, M.F. Marcon, R.A. Schankoski, L.R. Prudêncio Jr., L.R. Prudêncio, L.R. Prudêncio Jr., Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes, *J. Environ. Manage.* 244 (2019) 294–303. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.048>.
- [34] R. Bakis, H. Koyuncu, A. Demirbas, An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures, *Waste Manag. Res.* 24 (2006) 269–274. <https://doi.org/10.1177/0734242X06064822>.
- [35] A. Vega-Zamanillo, M.A. Calzada-Pérez, P. Lastra-González, I. Indacochea-Vega, J.A. Fernández Ortega, Analysis of the use of cupola furnace slags, green sand and reclaimed asphalt pavement in asphalt concrete mixtures for low intensity traffic, *Rev. La Construcción.* 16 (2017) 229–237. <https://doi.org/10.7764/RDLC.16.2.229>.
- [36] A. Arulrajah, E. Yaghoubi, M. Imteaz, S. Horpibulsuk, Recycled waste foundry sand as a sustainable subgrade fill and pipe-bedding construction material: Engineering and environmental evaluation, *Sustain. Cities Soc.* 28 (2017) 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.10.009>.
- [37] N. Makul, G. Sua-lam, Innovative utilization of foundry sand waste obtained from the manufacture of automobile engine parts as a cement replacement material in concrete production, *J. Clean. Prod.* 199 (2018) 305–320. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.167>.
- [38] F. Friol Guedes de Paiva, J.R. Tamashiro, L.H. Pereira Silva, A. Kinoshita, Utilization of inorganic solid wastes in cementitious materials – A systematic literature review, *Constr. Build. Mater.* 285 (2021) 122833. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122833>.
- [39] V.S. Rodrigues, L.M. Andrade, J.A.S. Tenório, Biodegradation of phenolic compounds in waste foundry sand: Physical and chemical characterization of foundry sand and bacterial degradation kinetics, *Environ. Nanotechnology, Monit. Manag.* 16 (2021) 100575. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100575>.
- [40] CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, (2019) 60. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>.
- [41] A. Esteves, Região produz 39,1 milhões de cana- de-açúcar, (2017) 18–20.
- [42] INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA IEA, Estimativa do Valor da Produção Agropecuária Paulista em 2015 por Região: cálculo preliminar, *Inst. Econ. AGRÍCOLA.* 10 (2015) 1–9.
- [43] C.S. Yamaguchi, N.P. Ramos, C.S. Carvalho, A.M.M. Pires, C.A. de Andrade, Sugarcane straw decomposition and carbon balance as a function of initial biomass and vinasse addition to soil surface, *Bragantia.* 76 (2017) 135–144. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.580>.
- [44] N.R.. e M.F. Seixas, F. L., Gimenes L. Marcelino, Artigo, *Quim. Nova.* XY (2016) 1–8.
- [45] L.P. Canellas, A.C.X. Velloso, C.R. Marciano, J.F.G.P. Ramalho, V.M.

- Rumjanek, C.E. Rezende, G.A. Santos, Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhiço e adição de vinhaça por longo tempo, *Rev. Bras. Ciência Do Solo*. 27 (2003) 935–944. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832003000500018>.
- [46] J.L.I. DEMATTE, Vinhaça na agroindústria da cana-de-açúcar “Nadir Almeida da Glória”, Ribeirão Preto, São Paulo, 2015.
- [47] L.T. Fuess, M.L. Garcia, Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation, *J. Environ. Manage.* 145 (2014) 210–229. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.003>.
- [48] L.T. Fuess, I.J. Rodrigues, M.L. Garcia, Fertirrigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization, *J. Environ. Sci. Heal. Part A*. 52 (2017) 1063–1072. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1338892>.
- [49] C.A. CHRISTOFOLETTI, J.P. Escher, J.E. Correia, J.F.U. Marinho, C.S. Fontanetti, Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use, *Waste Manag.* 33 (2013) 2752–2761. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>.
- [50] B. Chatveera, P. Lertwattanaruk, N. Makul, Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete, *Cem. Concr. Compos.* 28 (2006) 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.01.001>.
- [51] S. Yan, K. Sagoe-Crentsil, G. Shapiro, Properties of cement mortar incorporating de-inking waste-water from waste paper recycling, *Constr. Build. Mater.* 29 (2012) 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.09.012>.
- [52] B. Chatveera, P. Lertwattanaruk, Use of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture, *J. Environ. Manage.* 90 (2009) 1901–1908. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.008>.
- [53] CETESB, Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, São Paulo, SP, 2015.
- [54] L.F.L.S. Cruz, C.G. Duarte, T.F. Malheiros, E.C. Pires, Technical, economic and environmental viability analysis of the current vinasse use: ferti-irrigation, concentration and bio-digestion, *Brazilian J. Environ. Sci.* 29 (2013) 111–127.
- [55] L.T. Fuess, B.C. Klein, M.F. Chagas, M.C. Alves Ferreira Rezende, M.L. Garcia, A. Bonomi, M. Zaiat, Diversifying the technological strategies for recovering bioenergy from the two-phase anaerobic digestion of sugarcane vinasse: An integrated techno-economic and environmental approach, *Renew. Energy*. 122 (2018) 674–687. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.003>.
- [56] S.R. Bettani, G. de Oliveira Ragazzo, N. Leal Santos, T.G. Kieckbusch, R. Gaspar Bastos, M.R. Soares, M. Altenhofen da Silva, Sugarcane vinasse and microalgal biomass in the production of pectin particles as an alternative soil fertilizer, *Carbohydr. Polym.* 203 (2019) 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.041>.
- [57] L.T. Fuess, M.L. Garcia, M. Zaiat, Seasonal characterization of sugarcane vinasse: Assessing environmental impacts from fertirrigation and the bioenergy recovery potential through biodigestion, *Sci. Total Environ.* 634 (2018) 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.326>.
- [58] J.V. da Silva Neto, W.L.R.R. Gallo, E.A.A. Nour, Production and use of biogas from vinasse: Implications for the energy balance and GHG emissions of sugar cane ethanol in the brazilian context, *Environ. Prog. Sustain. Energy*. 39 (2020) 13226. <https://doi.org/10.1002/ep.13226>.
- [59] R.M. Leme, J.E.A. Seabra, Technical-economic assessment of different biogas

- upgrading routes from vinasse anaerobic digestion in the Brazilian bioethanol industry, *Energy*. 119 (2017) 754–766. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.029>.
- [60] H. Santana, C.R. Cereijo, V.C. Teles, R.C. Nascimento, M.S. Fernandes, P. Brunale, R.C. Campanha, I.P. Soares, F.C.P. Silva, P.S. Sabaini, F.G. Siqueira, B.S.A.F. Brasil, Microalgae cultivation in sugarcane vinasse: Selection, growth and biochemical characterization, *Bioresour. Technol.* 228 (2017) 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.075>.
- [61] H. Li, Z. Jiang, X. Yang, L. Yu, G. Zhang, J. Wu, X. Liu, Sustainable resource opportunity for cane molasses: use of cane molasses as a grinding aid in the production of Portland cement, *J. Clean. Prod.* 93 (2015) 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.027>.
- [62] Y. Zhang, A. Fei, D. Li, Utilization of waste glycerin, industry lignin and cane molasses as grinding aids in blended cement, *Constr. Build. Mater.* 123 (2016) 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.034>.
- [63] L. Weifeng, M. Suhua, Z. Shengbiao, S. Xiaodong, Physical and chemical studies on cement containing sugarcane molasses, *J. Therm. Anal. Calorim.* 118 (2014) 83–91. <https://doi.org/10.1007/s10973-014-3947-4>.
- [64] M. Bishop, A.R. Barron, Cement Hydration Inhibition with Sucrose, Tartaric Acid, and Lignosulfonate: Analytical and Spectroscopic Study, *Ind. Eng. Chem. Res.* 45 (2006) 7042–7049. <https://doi.org/10.1021/ie060806t>.
- [65] P. Kumar, Water Quality Assessments for Urban Water Environment, *Water*. 13 (2021) 1686. <https://doi.org/10.3390/w13121686>.
- [66] B.K. Mishra, P. Kumar, C. Saraswat, S. Chakraborty, A. Gautam, Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions, *Water*. 13 (2021) 490. <https://doi.org/10.3390/w13040490>.
- [67] K. Meena, S. Luhar, Effect of wastewater on properties of concrete, *J. Build. Eng.* 21 (2019) 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.10.003>.
- [68] B. Ribeiro, T. Yamamoto, Y. Yamashiki, A Study on the Reduction in Hydration Heat and Thermal Strain of Concrete with Addition of Sugarcane Bagasse Fiber, *Materials (Basel)*. 13 (2020) 3005. <https://doi.org/10.3390/ma13133005>.
- [69] F. Hernández-Olivares, R. Elizabeth Medina-Alvarado, X.E. Burneo-Valdivieso, A. Rodrigo Zúñiga-Suárez, Short sugarcane bagasse fibers cementitious composites for building construction, *Constr. Build. Mater.* 247 (2020) 118451. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118451>.
- [70] L. Rodier, E. Villar-Cociña, J.M. Ballesteros, H.S. Junior, Potential use of sugarcane bagasse and bamboo leaf ashes for elaboration of green cementitious materials, *J. Clean. Prod.* 231 (2019) 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.208>.
- [71] S. Chandra Paul, P. Mbewe, S. Kong, B. Šavija, Agricultural Solid Waste as Source of Supplementary Cementitious Materials in Developing Countries, *Materials (Basel)*. 12 (2019) 1112. <https://doi.org/10.3390/ma12071112>.
- [72] NBR 16697, Portland cement - Requirements, Rio de Janeiro, Brazil, 2018.
- [73] ASTM C150/C150M-19a, Standard Specification for Portland Cement, West Conshohocken, PA, 2019.
- [74] P. Cunniff, Official methods of analysis of the AOAC, 16th ed, Arlington, Virginia, USA, 1995.
- [75] NBR 7211:2009, Aggregates for concrete - Specification, Rio de Janeiro, Brazil, 2009.
- [76] C33/C33M-18, ASTM C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete

- Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018. https://doi.org/10.1520/C0033_C0033M-18.
- [77] NBR 16916, Fine aggregate - Determination of density and water absorption, Rio de Janeiro, Brazil, 2021.
- [78] ASTM C128, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, West Conshohocken, PA, 2015.
- [79] NBR 16917, Coarse aggregate - Determination of density and water absorption, Rio de Janeiro, Brazil, 2021.
- [80] ASTM C127, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, West Conshohocken, PA, 2015. ASTM International.
- [81] ASTM C109/C109M-20B, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens), West Conshohocken, PA, 2020. www.astm.org.
- [82] ASTM C305-20, Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency, West Conshohocken, PA, 2020. www.astm.org.
- [83] NBR-8953, Concrete for structural use — Density, strength and consistence classification, ABNT-Brazilian Stand. (2015) 8.
- [84] H.M.T. Lopes, Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), 2019.
- [85] NBR 16606:2018, Portland cement — Determination of the normal consistency paste, Rio de Janeiro, Brazil, 2018.
- [86] NBR 16607:2018, Portland cement — Determination of setting times, Rio de Janeiro, Brazil, 2018.
- [87] ASTM C187:16, Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste, West Conshohocken, PA, 2016.
- [88] ASTM C191:19, Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, West Conshohocken, PA, 2019.
- [89] J. Han, K. Wang, Y. Wang, J. Shi, Study of aluminum sulfate and anhydrite on cement hydration process, *Mater. Struct.* 49 (2016) 1105–1114. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0561-2>.
- [90] J. Han, K. Wang, J. Shi, Y. Wang, Influence of sodium aluminate on cement hydration and concrete properties, *Constr. Build. Mater.* 64 (2014) 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.089>.
- [91] ASTM C1437-20, Standard test method for flow of hydraulic cement mortar, West Conshohocken, PA, 2020. www.astm.org.
- [92] NBR 16889, Fresh concrete — Slump test, Rio de Janeiro, Brazil, 2020.
- [93] ASTM C143/C143M-15a, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, West Conshohocken, PA, 2015. www.astm.org.
- [94] ASTM C348-20, Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, West Conshohocken, PA, 2020. www.astm.org.
- [95] ASTM C349-18, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars, West Conshohocken, PA, 2018. www.astm.org.
- [96] NBR 5739:2018, Concrete - Compression test of cylindrical specimens, Rio de Janeiro, Brazil, 2018.
- [97] ASTM C39/C39M-20, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, West Conshohocken, PA, 2020. www.astm.org.

- [98] ASTM C642-13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, West Conshohocken, PA, 2013. www.astm.org.
- [99] V. Räsänen, V. Penttala, The pH measurement of concrete and smoothing mortar using a concrete powder suspension, *Cem. Concr. Res.* 34 (2004) 813–820. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.09.017>.
- [100] AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid, Spain, 2017. www.aenor.es.
- [101] A. Jumadurdiyev, M. Hulusi Ozkul, A.R. Saglam, N. Parlak, The utilization of beet molasses as a retarding and water-reducing admixture for concrete, *Cem. Concr. Res.* 35 (2005) 874–882. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.036>.
- [102] K. Rashid, S. Tariq, W. Shaukat, Attribution of molasses dosage on fresh and hardened performance of recycled aggregate concrete, *Constr. Build. Mater.* 197 (2019) 497–505. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.249>.
- [103] C. Akar, M. Canbaz, Effect of molasses as an admixture on concrete durability, *J. Clean. Prod.* 112 (2016) 2374–2380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.081>.
- [104] C. Xu, H. Li, B. Dong, X. Yang, Chlorine immobilization and performances of cement paste/mortar with C-S-Hs-PCE and calcium chloride, *Constr. Build. Mater.* 262 (2020) 120694. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120694>.
- [105] R. Snellings, A. Bazzoni, K. Scrivener, The existence of amorphous phase in Portland cements: Physical factors affecting Rietveld quantitative phase analysis, *Cem. Concr. Res.* 59 (2014) 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.03.002>.
- [106] P. Acker, F.-J.J. Ulm, Creep and shrinkage of concrete: physical origins and practical measurements, *Nucl. Eng. Des.* 203 (2001) 143–158. [https://doi.org/10.1016/S0029-5493\(00\)00304-6](https://doi.org/10.1016/S0029-5493(00)00304-6).
- [107] L. Coppola, D. Coffetti, E. Crotti, S. Candamano, F. Crea, G. Gazzaniga, T. Pastore, The combined use of admixtures for shrinkage reduction in one-part alkali activated slag-based mortars and pastes, *Constr. Build. Mater.* 248 (2020) 118682. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118682>.
- [108] C. Maltese, C. Pistolesi, A. Lolli, A. Bravo, T. Cerulli, D. Salvioni, Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to obtain stable and durable mortars, *Cem. Concr. Res.* 35 (2005) 2244–2251. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.11.021>.
- [109] D.P. Bentz, M.R. Geiker, K.K. Hansen, Shrinkage-reducing admixtures and early-age desiccation in cement pastes and mortars, *Cem. Concr. Res.* 31 (2001) 1075–1085. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00519-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00519-1).
- [110] R. Ravi, S. Thirumalini, Effect of natural polymers from *Cissus glauca* roxb on the mechanical and durability properties of hydraulic lime mortar, *Int. J. Archit. Herit.* 13 (2019) 229–243. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1431732>.
- [111] K.A. Gour, R. Ramadoss, T. Selvaraj, Revamping the traditional air lime mortar using the natural polymer – Areca nut for restoration application, *Constr. Build. Mater.* 164 (2018) 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.056>.
- [112] C. Martínez-García, B. González-Fonteboa, D. Carro-López, F. Martínez-Abella, Design and properties of cement coating with mussel shell fine aggregate, *Constr. Build. Mater.* 215 (2019) 494–507. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.211>.
- [113] A. Lozano-Lunar, P.R. da Silva, J. de Brito, J.I.I. Álvarez, J.M.M. Fernández, J.R.R. Jiménez, Performance and durability properties of self-compacting

- mortars with electric arc furnace dust as filler, *J. Clean. Prod.* 219 (2019) 818–832. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.145>.
- [114] L. Cui, J.H. Cahyadi, Permeability and pore structure of OPC paste, *Cem. Concr. Res.* 31 (2001) 277–282. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00474-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00474-9).
- [115] P. Maravelaki-Kalaitzaki, Hydraulic lime mortars with siloxane for waterproofing historic masonry, *Cem. Concr. Res.* 37 (2007) 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.11.007>.
- [116] L. Ventolà, M. Vendrell, P. Giraldez, L. Merino, Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics, *Constr. Build. Mater.* 25 (2011) 3313–3318. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.020>.
- [117] S. Chegatti, Spent Foundry Sand: Context, Management and Impact (In Portuguese), 1st ed, Curitiba, Brazil, 2016.
- [118] K. Murari, R. Siddique, K.K. Jain, Use of waste copper slag, a sustainable material, *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 17 (2015) 13–26. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0254-x>.
- [119] K.G. Santhosh, S.M. Subhani, A. Bahurudeen, Cleaner production of concrete by using industrial by-products as fine aggregate: A sustainable solution to excessive river sand mining, *J. Build. Eng.* 42 (2021) 102415. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102415>.
- [120] H. Farahani, S. Bayazidi, Modeling the assessment of socio-economical and environmental impacts of sand mining on local communities: A case study of Villages Tatao River Bank in North-western part of Iran, *Resour. Policy.* 55 (2018) 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.11.001>.
- [121] M. Mavroulidou, D. Lawrence, Can waste foundry sand fully replace structural concrete sand?, *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 21 (2019) 594–605. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-00821-1>.
- [122] X. Wang, K. Wang, J. Li, W. Wang, Y. Mao, S. Wu, S. Yang, Heavy metals migration during the preparation and hydration of an eco-friendly steel slag-based cementitious material, *J. Clean. Prod.* 329 (2021) 129715. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129715>.
- [123] J. Liu, L. Hu, L. Tang, J. Ren, Utilisation of municipal solid waste incinerator (MSWI) fly ash with metakaolin for preparation of alkali-activated cementitious material, *J. Hazard. Mater.* 402 (2021) 123451. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123451>.
- [124] A. Lozano-Lunar, P. Raposeiro da Silva, J. de Brito, J.M. Fernández, J.R. Jiménez, Safe use of electric arc furnace dust as secondary raw material in self-compacting mortars production, *J. Clean. Prod.* 211 (2019) 1375–1388. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.002>.
- [125] J.K. Nyembwe, M.E. Makhatha, F.C. Banganayi, K. Nyembwe, Characterization of Foundry Waste Sand Streams for Recycling Applications in Construction Industry, *Waste and Biomass Valorization.* 9 (2018) 1681–1686. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9894-0>.
- [126] N. Makul, P. Sokrai, Influences of fine waste foundry sand from the automobile engine-part casting process and water-cementitious ratio on the properties of concrete: A new approach to use of a partial cement replacement material, *J. Build. Eng.* 20 (2018) 544–558. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.004>.
- [127] V.D. Prasad, E.L. Prakash, M. Abishek, K. Ushanth Dev, C.K. Sanjay Kiran, Study on concrete containing Waste Foundry Sand, Fly Ash and Polypropylene fibre using Taguchi Method, *Mater. Today Proc.* 5 (2018) 23964–23973.

- <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.189>.
- [128] ASTM, C109/C109M – 20b: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2020.
- [129] UNE-EN 12457-4, Characterisation of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction), Madrid, 2003.
- [130] NBR 10005:2004, procedure for obtention leaching extract of solid wastes, Rio de Janeiro, Brazil, 2004.
- [131] NM-248, NM 248, Aggregates - Sieve analysis of fine and coarse aggregates, Brazilian standards, Rio de Janeiro, Brazil, 2003.
- [132] ASTM C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, West Conshohocken, PA, 2019. www.astm.org.
- [133] NBR 10006:2004, procedure for obtention of solubilized extraction of solid wastes, Rio de Janeiro, Brazil, 2004.
- [134] H.M. Basar, N. Deveci Aksoy, The effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the mechanical, leaching and micro-structural characteristics of ready-mixed concrete, *Constr. Build. Mater.* 35 (2012) 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.078>.
- [135] R. Siddique, G. de Schutter, A. Noumowe, Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete, *Constr. Build. Mater.* 23 (2009) 976–980. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.05.005>.
- [136] N. Kachouh, H. El-Hassan, T. El-Maaddawy, Effect of steel fibers on the performance of concrete made with recycled concrete aggregates and dune sand, *Constr. Build. Mater.* 213 (2019) 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.087>.
- [137] Z. Liu, C.S. Cai, H. Peng, F. Fan, Experimental Study of the Geopolymeric Recycled Aggregate Concrete, *J. Mater. Civ. Eng.* 28 (2016) 04016077. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001584](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001584).
- [138] D. Kazmi, M. Serati, D.J. Williams, S. Qasim, Y.P. Cheng, The potential use of crushed waste glass as a sustainable alternative to natural and manufactured sand in geotechnical applications, *J. Clean. Prod.* 284 (2021) 124762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124762>.
- [139] B. Bhardwaj, P. Kumar, Waste foundry sand in concrete: A review, *Constr. Build. Mater.* 156 (2017) 661–674. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.010>.