

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 19/04/2026.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais
POSMAT

**Concreto sustentável com incorporação de resíduo de
construção civil, vidro, raspa de couro e cinza de couro**

Nome: Vitor Hugo Santana da Silva Quatroque
Orientador: Prof.º Dr.º Aldo Eloizo Job
Coorientadora: Prof.ª Dr.ª Rebeca Delatore Simões

Presidente Prudente

2024

Vitor Hugo Santana da Silva Quatroque

Concreto sustentável com incorporação de resíduo de construção civil, vidro, raspa de couro e cinza de couro

Dissertação apresentada para o Exame de Defesa como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” sob orientação do Prof.º Dr.º Aldo Eloizo Job e coorientação da Prof.ª Dr.ª Rebeca Delatore Simões.

Orientador: Prof.º Dr.º Aldo Eloizo Job

Coorientadora: Prof.ª Dr.ª Rebeca Delatore Simões

Presidente Prudente

2024

Q2c

Quatroque, Vitor Hugo Santana da Silva

Concreto sustentável com incorporação de resíduo de construção civil, vidro, raspa de couro e cinza de couro / Vitor Hugo Santana da Silva Quatroque. -- Presidente Prudente, 2024

156 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientador: Aldo Eloizo Job

Coorientadora: Rebeca Delatore Simões

1. Concreto. 2. Resíduo de Vidro. 3. Resíduo de Construção Civil.
4. Cinzas de Couro. 5. Raspas de Couro. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.




UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE VITOR HUGO SANTANA DA SILVA QUATROQUE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE.

Aos 19 dias do mês de abril do ano de 2024, às 14:00 horas, no(a) Sala de Videoconferência (Centro Cultural , realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de VITOR HUGO SANTANA DA SILVA QUATROQUE, intitulada **Concreto sustentável com incorporação de resíduo de construção civil, vidro, raspa de couro e cinza de couro**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profª Drª REBECA DELATORE SIMÕES (Co-orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP, Prof. Dr. BRUNO DO VALE SILVA (Participação Presencial) do(a) Departamento de Construção Civil / Instituto Federal de São Paulo - IFSP, Prof. Dr. SILVIO RAINHO TEIXEIRA (Participação Presencial) do(a) Departamento de Física Química e Biologia / Faculdade de Ciências e Tecnologia - Unesp/Câmpus de Presidente Prudente. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profª Drª REBECA DELATORE SIMÕES

 19/04/24

*À minha família e amigos,
que me fortalecem todos os dias.*

Agradecimentos

Aos meus pais, Claudemir e Márcia, vocês são minha fonte inesgotável de amor, apoio e inspiração. Seu amor e dedicação inabaláveis são o alicerce da minha vida e da minha conquista. Muito obrigado por serem meus pais incríveis. Ao meu irmão, João Pedro, sua contribuição na produção dos materiais de pesquisa foi inestimável. Sua disposição em me ajudar e compartilhar conhecimentos foi fundamental para o sucesso desta dissertação. Aos meus avós, Pedro, Neusa, Sergio e Maria (*in memoriam*) vocês são uma fonte de sabedoria, amor e apoio contínuo em minha vida. Suas histórias de vida, experiência e conselhos sábios têm sido inestimáveis para o meu crescimento como pessoa. A minha namorada Bruna, por toda a paciência em ouvir as ideias, dificuldades e conquistas, obrigado pelo companheirismo e cada incentivo que me ajudaram a caminhar.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus orientadores durante o período de mestrado, prof. ° Aldo e prof. ° Carlos, e à minha coorientadora, prof.ª. Rebeca. Sua orientação e apoio foram inestimáveis durante todo o processo de pesquisa. Sem a orientação cuidadosa, conhecimento especializado e valiosos insights fornecidos por eles, este trabalho não teria sido possível. Agradeço-lhes pela dedicação, paciência e incentivo constantes.

Gostaria também de agradecer às pesquisadoras e colegas de trabalho, Andressa, Gabriella e Cibely, cujas contribuições foram essenciais para o sucesso deste estudo. Agradeço-lhes por sua expertise, colaboração e amizade durante todo o período de desenvolvimento desta dissertação. Também aos professores Bruno do Vale Silva e Silvio Rainho pelas correções, orientações e elogias ao trabalho, o papel destes como banca considero de suma importância neste trabalho.

Ao Centro Universitário Toledo, na pessoa do prof. Dr. Elton Prado, por ceder o espaço para a realização dos testes experimentais. Sua generosidade e apoio foram fundamentais para a conclusão deste estudo.

Não posso deixar de agradecer à minha Universidade, UNESP, e ao meu Programa de Pós-Graduação, o POSMAT, por fornecerem os recursos e o suporte necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço a todos os professores, colegas e funcionários que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

Por fim, gostaria de agradecer a Deus por sua infinita bondade e por me guiar durante todo esse processo.

*“Running over the same old ground
What have we found?
The same old fears”*

Waters, R., Gilmour, D. (1975)

RESUMO

Concreto sustentável com incorporação de resíduo de construção civil, vidro, raspa de couro e cinza de couro

A indústria brasileira de construção civil, assim como muitos outros setores industriais, enfrenta dificuldades na utilização efetiva de recursos naturais e na redução de resíduos. A produção de concreto consome uma quantidade significativa de recursos. Sendo as emissões de dióxido de carbono (CO₂) grandemente influenciadas pela fabricação dos componentes do concreto. Este estudo propõe a utilização de resíduos de vidro, de construção civil e de raspas de couro como substitutos do agregado miúdo, e cinzas de couro como substituto do cimento *Portland*, visando mitigar os aspectos negativos do concreto e dos resíduos no meio ambiente. Os resíduos foram escolhidos devido à sua abundante disponibilidade e ao seu descarte incorreto nas cidades brasileiras. Quatro traços iniciais foram propostos em substituição ao agregado miúdo: T1 - 50% resíduo de vidro, T2 - 50% resíduo de construção, T3 e T4 - 3 e 4% resíduo de raspas de couro respectivamente. Além de uma composição com 5% de cinzas de couro adicionadas ao cimento, T5. Os resultados revelaram que o resíduo de couro reduziu significativamente a trabalhabilidade da massa fresca. A resistência à compressão mecânica aos 28 dias para T1, T3 e T4 foram 56,3, 93,3 e 89,9% respectivamente, abaixo do requisito mínimo de 20 MPa exigidos pela NBR 8.953/2015. T2 alcançou 25,83 MPa e T5 atingiu resistência 2,6% acima do traço Controle, 32,51 MPa. T5 foi testado mecanicamente aos 60 dias de cura, e sua resistência alcançou 32,78 MPa. Na segunda fase da pesquisa, foram propostas três combinações de materiais de resíduos: M1 - 50% vidro/50% resíduo de construção; M2 - 50% vidro/50% resíduo de construção / 5% cinzas de couro e M3 - 50% resíduo de construção / 5% cinzas de couro. M1, M2 e M3 alcançaram resistências à compressão mecânica aos 28 dias de cura de 24,93; 31,12 e 28,45 MPa, respectivamente. Entretanto, somente M3 manteve a resistência constante ao longo de 60 dias de idade. Durante o teste de resistência à tração por flexão, M1 e M3 exibiram perfis de ruptura incomuns, enquanto M2 demonstrou um perfil próximo do esperado. Os traços que não mantiveram a resistência requerida aos 60 dias apresentaram poros (vazios) na Microscopia Eletrônica de Varredura e na Microscopia Óptica, enquanto M2 exibiu uma microestrutura sólida. A presença de poros na estrutura interna de M1 e M3 pode ser a razão do aumento da absorção de água durante o ensaio de absorção de água por capilaridade, alcançando 8% e 37% respectivamente, acima do Controle. Em conclusão, T5 e M2 possuem características condizentes com o uso estrutural, pois atendem às especificações delineadas na NBR 8.953 e não houve queda de resistência aos 60 dias. A incorporação de resíduo de vidro, resíduo de construção civil e cinzas de couro na fabricação de concreto representa uma abordagem viável para reduzir o consumo de recursos da construção civil, bem como diminuir os resíduos despejados em lixões.

Palavras-chave: Concreto; Resíduo de Vidro; Resíduo de Construção Civil, Resíduo de Raspas de Couro; Cinzas de Couro.

ABSTRACT

Sustainable concrete with incorporation of civil construction waste, glass, leather scrap and leather ashes

The Brazilian construction industry, like many other industrial sectors, faces challenges in the effective use of natural resources and waste reduction. Concrete production consumes a significant amount of resources, and carbon dioxide (CO₂) emissions are greatly influenced by the manufacturing of concrete components. This study proposes the use of glass waste, construction waste, and leather shavings as substitutes for fine aggregate, and leather ash as a substitute for Portland cement, aiming to mitigate the negative aspects of concrete and waste on the environment. The wastes were chosen due to their abundant availability and improper disposal in Brazilian cities. Four initial mixtures were proposed as substitutes for fine aggregate: T1 - 50% glass waste, T2 - 50% construction waste, T3 and T4 - 3% and 4% leather shavings respectively. Additionally, a composition with 5% leather ash added to the cement, T5, was tested. The results revealed that leather waste significantly reduced the workability of the fresh mix. The 28-day compressive strength for T1, T3, and T4 were 56.3%, 93.3%, and 89.9% respectively, below the minimum requirement of 20 MPa demanded by NBR 8.953/2015. T2 achieved 25.83 MPa, and T5 reached a strength 2.6% above the Control mix, 32.51 MPa. T5 was mechanically tested at 60 days of curing, and its strength reached 32.78 MPa. In the second phase of the research, three combinations of waste materials were proposed: M1 - 50% glass/50% construction waste; M2 - 50% glass/50% construction waste/5% leather ash; and M3 - 50% construction waste/5% leather ash. M1, M2, and M3 achieved 28-day compressive strengths of 24.93, 31.12, and 28.45 MPa, respectively. However, only M3 maintained consistent strength over 60 days. During the flexural tensile strength test, M1 and M3 exhibited unusual fracture profiles, while M2 showed an expected profile. The mixtures that did not maintain the required strength at 60 days showed pores (voids) in Scanning Electron Microscopy and Optical Microscopy, whereas M2 exhibited a solid microstructure. The presence of pores in the internal structure of M1 and M3 may be the reason for the increased water absorption during the capillary water absorption test, reaching 8% and 37% respectively, above the Control mix. In conclusion, T5 and M2 have characteristics suitable for structural use, as they meet the specifications outlined in NBR 8.953, and there was no strength loss at 60 days. The incorporation of glass waste, construction waste, and leather ash in concrete production represents a viable approach to reducing resource consumption in construction as well as decreasing waste disposed of in landfills.

Keywords: Concrete; Glass Waste; Construction Waste; Leather Scraps Waste; Leather Ashes.

Lista de Figuras

Figura 1. Obras de engenharia com uso de concreto - (a) Hidrelétrica das três gargantas, China, 2003 (REHMAN, 2009); (b) Ópera House de Sydney, Australia, 1973 (SPRAGG, 2015); (c) Museu de Arte de São Paulo, Brasil, 1947 (ARRUDA, 2019); (d) Burj Khalifa Bin Zayid, Emirados Árabes Unidos, 2010 (ALLPLAN, 2023)	20
Figura 2. Ponte Castelo Chazelet, França, 1875 (BOSC, et al. 2011).....	21
Figura 3. (a) FAU USP, São Paulo, 1948 (Acervo USP, 1950); (b) Estádio Cícero Pompeu de Toledo, 1960 (Acervo municipal, 1960); (c) Catedral Metropolitana de Brasília, Brasília, 1958 (Lie Décor, 2022); (d) Capela de São Pedro Apóstolo, Campos do Jordão, 1987 (FRACALOSSI, 2020)	23
Figura 4. Geradores de resíduo sólido no Brasil (Adaptado de ABRELPE [37] e MONTEIRO [60]).	33
Figura 5. RV: bruto (a) e processado (b) (Autor).....	38
Figura 6. RCC: bruto (a) e processado (b) (Autor).....	39
Figura 7. RRC (Autor).....	40
Figura 8. CC:RRC (a) e cinzas (b) (Autor).....	41
Figura 9. Tomada de medidas dos corpos de prova: (a) ponto médio; (b) altura (Autor).....	53
Figura 10. Execução de ensaio de resistência à tração por compressão diametral (Autor).....	55
Figura 11. Curva granulométrica da areia (Autor).....	61
Figura 12. Curva granulométrica RV (Autor).....	62
Figura 13. Curva granulométrica RCC (Autor).....	64
Figura 14. Curva granulométrica RRC (Autor).....	65
Figura 15. Curva Granulométrica brita (Autor).....	67
Figura 16. Organograma de composição dos traços estudados (CPs: Corpos de Prova).....	70
Figura 17. Slump Test T3 (a) e T4 (b) (Autor).....	71
Figura 18. Ensaio de resistência à compressão mecânica para os traços T1; T2; T3; T4 e T5 (Autor).....	73
Figura 19. Ensaio preliminar de resistência à compressão mecânica para os traços M1; M2 e M3 (Autor).....	75
Figura 20. Valores obtidos nos ensaios finais de compressão mecânica de M1; M2; M3; (MPa) (Autor).....	76
Figura 21. Valores obtidos nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias (Autor).....	78
Figura 22. Limites esperados de tração por compressão diametral (Autor).....	79
Figura 23. Corpos de provas rompidos por compressão diametral (Autor).....	79
Figura 24. Espectros de FTIR para as amostras de CP, areia, RV e os traços Controle e T1 (Autor).....	83
Figura 25. Espectros de FTIR para as amostras de CP, areia, RCC e os traços Controle e T2 (Autor).....	84
Figura 26. Espectros de FTIR para as amostras de CP, areia, CC e os traços Controle e T5 (Autor).....	85
Figura 27. Espectros de FTIR para as amostras de Controle, M1, M2 E M3 (Autor).....	86
Figura 28. Espectros Raman, laser 663 nm para as diferentes amostras de Controle, T5, M1, M2, M3 (Autor).....	89

Figura 29. Imagens de microscopia óptica na lente objetiva de 4x (Controle, CP); 10x (areia) (Autor).....	91
Figura 30. Imagens de microscopia óptica na lente objetiva de 4x (M1); 10x (RV); 20x (RCC) (Autor).....	92
Figura 31. Imagens de microscopia óptica na lente objetiva de 10x (M1, RV); 20x (RCC) (Autor).....	93
Figura 32. Imagens de microscopia óptica na lente objetiva de 4x (M2, CC); 10x (RV); 20x (RCC) (Autor).....	94
Figura 33. Imagens de microscopia óptica na lente objetiva de 4x (M3, CC); 20x (RCC) (Autor).....	95
Figura 34. MEV: traço Controle (50x); CP (300x) (Autor).....	97
Figura 35. MEV: traço Controle (200x); areia (50x); CP (300x) (Autor).....	97
Figura 36. MEV: amostra RV aumento de 60x (Autor).....	98
Figura 37. MEV: amostra de RCC aumento de 59x (Autor).....	99
Figura 38. MEV: amostra de CC aumento de 100X (Autor).....	99
Figura 39. TG: Blend original de CC, razão de aquecimento de 10°C/min (Autor).....	100
Figura 40. MEV: amostra M1 (50% RV 50% RCC) aumento de 50x (Autor).....	101
Figura 41. MEV: amostra de RCC aumento de 59x; RV aumento de 60X; M2 aumento de 200x (Autor).....	101
Figura 42. MEV: M1 porosidade aumento de 50x (a) e 100x(b) (Autor).....	103
Figura 43. MEV: amostra M2 (50%RV 50%RCC 5%CC) (Autor).....	104
Figura 44. MEV: amostra M2 aumento de 200x (Autor).....	105
Figura 45. MEV: amostra RCC aumento 59x; M3 (50% RCC 5% CC) aumento de 70x (Autor).....	106
Figura 46. MEV: amostra de RCC aumento de 59x; CC aumento de 60x; M3 aumento de 250x (Autor).....	106
Figura 47. MEV: M3 porosidade com aumento de 70x (Autor).....	108
Figura 48. EDS: Controle; área estudada (a); concentrações químicas (b) (Autor).....	110
Figura 49. EDS: Controle, C(a); O(b); Al(c); Si(d); S(e); Ca(f) (Autor).....	111
Figura 50. EDS: T5; área estudada (a); concentrações químicas (b) (Autor).....	112
Figura 51. EDS: T5, C(a); O(b); Mg(c); Al(d); Si(e); S(f); Ca(g) (Autor).....	113
Figura 52. EDS: M1; área estudada (a); concentrações químicas (b) (Autor).....	115
Figura 53. EDS: M1; C(a); O(b); Al(c); Si(d); Ca(e) (Autor).....	116
Figura 54. EDS: M2, área estudada (a); concentrações químicas (b) (Autor).....	117
Figura 55. EDS: M2, C (a); O (b); Al (c); Si (d); Ca (e) Cr (f) (Autor).....	118
Figura 56. EDS: M3, área estudada (a); concentrações químicas (b) (Autor).....	119
Figura 57. EDS: M3, C (a), O (b); Si (c); Ca (d); Cr (e) (Autor).....	120
Figura 58. Capilaridade: Controle; T5; M1; M2; M3 (Autor).....	123
Figura 59. Teor de umidade concretos: Controle; T5; M1; M2; M3 (Autor).....	126
Figura 60. Massa específica: Controle, T5, M1, M2 e M3 (Autor).....	128

Lista de Tabelas

Tabela 1. Composição e informações sobre ingredientes do CP Votorantim II – F-32 (Adaptado de Votorantim Cimentos [39]).....	26
Tabela 2. Massa mínima para ensaio de teor de umidade (Adaptado NBR 9.939/2011 [90]).	47
Tabela 3. Limites da distribuição granulométrica do AM (Adaptado de NBR 7.211/2022 [40]).	48
Tabela 4. Limites da distribuição granulométrica do AG (Adaptado de NBR 7.2211/2022 [40]).	50
Tabela 5. Propriedades físicas dos resíduos e agregados (Autor).	59
Tabela 6. Ensaio de granulometria da areia (Autor).....	61
Tabela 7. Ensaio de granulometria do RV (Autor).....	62
Tabela 8. Ensaio de granulometria do RCC (Autor).	63
Tabela 9. Ensaio de granulometria do RRC (Autor).	65
Tabela 10. Ensaio de granulometria da brita (Autor).	66
Tabela 11. Quantitativo de materiais (kg/m ³) para os traços “T” (Autor).....	68
Tabela 12. Quantitativo de materiais (kg/m ³) para os traços “M” (Autor).....	69
Tabela 13. Esquematização dos traços em unidades de volume em relação a uma unidade de aglomerante (Autor)	70
Tabela 14. Valores de abatimento de tronco de cone dos traços estudados (mm) (Autor).	71
Tabela 15. Atribuições e valores das bandas encontrados nos espectros de FTIR: Controle, areia, RV; RCC; CC; T2; T3; T5 (Autor).....	81
Tabela 16. Atribuições e valores das bandas encontrados nos espectros de FTIR: Controle, M1; M2; M3 (Autor).	87
Tabela 17. Atribuições e valores das bandas encontrados nos espectros Raman: Controle, T5, M1, M2, M3 (Autor).	90
Tabela 18. FRX: Controle, T5, M1, M2 e M3.....	121
Tabela 19. Resultados ensaio de absorção de água por capilaridade (Autor)	124

Lista de Quadros

Quadro 1. Designação normalizada, sigla e classe do cimento <i>Portland</i> , (Adaptado NBR 16.697/2018 [38]).	26
Quadro 2. Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material (Adaptado de NBR 7.211/2022 [40]).	27
Quadro 3. Classes de consistência do concreto (Adaptado de NBR 8.953/2015 [96]).	52

Lista de Siglas

- ABCP** – Associação Brasileira de Cimento *Portland*.
- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABVidro** – Associação Brasileira das Indústrias de Vidro.
- AG** – Agregado Graúdo.
- AM** – Agregado Miúdo.
- ARCO** – Agregado Reciclado de Concreto.
- ARI** – Alta Resistência Inicial.
- ASTM** – Sociedade Americana de Testes e Materiais (do inglês *American Society for Testing and Materials*).
- CAS** – Serviço de Resumos Químicos (do inglês *Chemical Abstracts Services*).
- CC** – Cinzas de Couro.
- CEMPRE** – Consórcio Empresarial para a Reciclagem.
- CICB** – Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil.
- CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- CP** – Cimento *Portland*.
- CV** – Cinzas Volantes.
- EDS** – Espectroscopia Energia Dispersiva.
- FAU USP** – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/Universidade de São Paulo.
- FCT/UNESP** – Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual Paulista.
- FTIR** – Espectrofotometria no Infravermelho por Transformada de Fourier (do inglês *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*).
- FRX** – Fluorescência de Raios X.
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- IBRA** – Instituto Brasileiro de Análises.
- LabMMEV** – Laboratório Multiusuário de Microscopia de Varredura Eletrônica.
- LaCOM** – Laboratório de Catálise Organometálica e Materiais
- LCGRS** – Laboratório de Caracterização Gestão de Resíduos Sólidos.
- LTBA** – Laboratório de Tecnologia de Borracha e Aplicações.
- MASP** – Museu de Arte de São Paulo.
- MEV** – Microscopia Eletrônica de Varredura.
- MO** – Microscopia Óptica.
- MO** – Microscopia Óptica.
- NBR** – Norma Técnica Brasileira.
- ODS** – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.
- ONU** – Organização das Nações Unidas.
- PIB** – Produto Interno Bruto.
- RCC** – Resíduo de Construção Civil.
- RRC** – Resíduo de Raspas de Couro.
- RV** – Resíduo de Vidro.
- TG** – Curva Termogravimétrica.
- TG** – Termogravimetria
- VOC** – Compostos Orgânicos Voláteis (do inglês *Volatile Organic Compound*).

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1 O Concreto.....	19
2.2 A História do Concreto.....	21
2.3 O Concreto no Brasil.....	22
2.4 A Problemática do Concreto.....	23
2.5 Componentes convencionais.....	25
2.5.1 Cimento Portland composto de fíler (CP II-F-32).....	25
2.5.2 Agregado Miúdo (AM) - areia.....	26
2.5.3 Agregado Graúdo (AG) - brita basáltica.....	28
2.6 Agregados Recicláveis.....	30
2.6.1 Resíduo de Vidro (RV).....	30
2.6.2 Resíduo de Construção Civil (RCC).....	31
2.6.3 Resíduo de Raspas de Couro (RRC).....	33
2.7 Resíduos como substitutos ao aglomerante do concreto.....	34
2.7.1 Cinzas.....	35
3 OBJETIVOS.....	37
3.1 Objetivos específicos.....	37
4 EXPERIMENTAL.....	37
4.1 Materiais.....	37
4.2 Metodologia.....	42
4.2.1 Determinação dos índices físicos Agregado Miúdo (AM).....	42
4.2.1.1 Densidade seca AM.....	42
4.2.1.2 Densidade AM na condição saturada superfície seca.....	43
4.2.1.3 Absorção de Água.....	44
4.2.1.4 Determinação da densidade aparente do RRC por unidade de área.....	44
4.2.2 Determinação dos índices físicos do agregado graúdo (AG).....	45
4.2.2.1 Densidade AG na condição seca.....	45
4.2.2.2 Densidade AG na condição saturada superfície seca.....	46
4.2.2.3 Absorção de água do AG.....	46
4.2.3 Teor de umidade.....	46
4.2.4 Granulometria dos Agregados.....	47
4.2.4.1 Granulometria do AM.....	47
4.2.4.2 Granulometria do AG.....	48
4.2.5 Determinação dos traços.....	50

4.2.6 Estudo da trabalhabilidade do concreto no estado fresco	51
4.2.7 Ensaio com concreto endurecido	52
4.2.7.1 Ensaio de resistência à compressão	52
4.2.7.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	54
4.2.7.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	55
4.2.7.4 Espectroscopia Raman.....	56
4.2.7.5 Microscopia óptica (MO)	56
4.2.7.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	57
4.2.7.7 Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)	57
4.2.7.8 Fluorescência de Raios-X (FRX)	57
4.2.7.9 Absorção de água por capilaridade.....	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1 Determinação dos índices físicos dos agregados.....	59
5.2 Determinação dos traços.....	67
5.3 Estudo da trabalhabilidade do concreto no estado fresco.....	70
5.4 Ensaio com concreto endurecido	72
5.4.1 Ensaio de resistência à compressão mecânica.....	72
5.4.2 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	77
5.4.3 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	80
5.4.4 Espectroscopia Raman.....	89
5.4.5 Microscopia óptica (MO)	91
5.4.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	96
5.4.7 Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS)	109
5.4.8. Fluorescência de Raios X (FRX).....	121
5.4.9 Absorção de água por capilaridade.....	123
5.4.10 Teor de Umidade e Massa Específica.....	126
6 CONCLUSÕES	128
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	130
REFERÊNCIAS	131
ANEXOS	142
ANEXO A – Concentração de cromo trivalente e hexavalente – Laboratório Controle Analítico	142
ANEXO B – Concentração de cromo trivalente e hexavalente – Laboratório Instituto Brasileiro de análises	143
APÊNDICES	145
Apêndice A – Relatório de ensaio de granulometria areia	145
Apêndice B– Relatório de ensaio de granulometria resíduo de vidro (RV).....	146

Apêndice C – Relatório de ensaio de granulometria resíduo de construção civil (RCC) – 1 moagem	147
Apêndice D – Relatório de ensaio de granulometria resíduo de construção civil (RCC) – 2 moagens	148
Apêndice E – Relatório de ensaio de granulometria resíduo de raspas de couro (RRC) ...	149
Apêndice F – Relatório de ensaio de granulometria brita	150
Apêndice G – Relatório de ensaio de compressão axial, traços “T”	151
Apêndice H – Relatório de ensaio de compressão axial, traços “M” inicial	153
Apêndice I – relatório de ensaio de compressão axial, traços “M” final.....	154
Apêndice J – Relatório de ensaio de tração por compressão diametral.....	155
Apêndice K – Relatório de ensaio de absorção de água por capilaridade.....	155

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos mais importantes da economia mundial e assim também o é da economia brasileira [1,2]. No Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) durante a última pesquisa anual da indústria da construção, realizada em 2021, existiam 147.389 empresas ativas no país e estas empregam diretamente 2.203.731 pessoas, faturando uma receita bruta total de aproximadamente R\$ 397 bilhões [3] o que corresponde por cerca de 4,5% do Produto Interno Bruto (PIB) no ano em questão.

Dentro desse grande motor econômico, a subárea com maior produção em volume é a produção de concreto [4]. Dentre os desafios que um setor economicamente proeminente enfrenta pode-se destacar a busca pela eficiência e pela sustentabilidade do setor. Para isso, duas grandes problemáticas surgem, a gestão de resíduos sólidos e a eficiência na utilização de recursos naturais. A construção civil é responsável pela produção de até 60% dos resíduos sólidos nas cidades brasileiras [5], sendo considerado resíduo sólido todo o rejeito inviabilizado de ser descartado na rede de esgoto [6], além disso, o setor consome uma fatia de no mínimo 50% de todos os recursos naturais extraídos [7].

O Resíduo de Construção Civil (RCC) é, em sua grande maioria, composto por produtos e subprodutos de base cimentícia [8], como argamassas, concreto e blocos. O RCC proveniente especificamente de concreto, segundo Angulo *et al.* [9], representa 50% de todo RCC gerado. Este resíduo possui especial destaque em sua utilização na fabricação de concretos reciclados, atuando como substituto ao agregado miúdo (AM), conforme regulamenta a resolução n.º 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) [10]. Uma das vantagens do RCC é a capacidade de se criar um ciclo de reuso de recurso na produção de concreto. Outra vantagem é a grande capacidade de reaproveitamento do material em massa [11].

Assim como RCC, o Resíduo de Vidro (RV) também possui a capacidade de ser totalmente reciclado [12]. Outra semelhança é a alta produção deste resíduo sólido e sua baixa reciclagem, sendo que segundo estimativas do Consórcio Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), somente 47% do volume total de vidro produzido é reciclado [13]. O restante é comumente descartado em vazadouros ou aterros sanitários, desperdiçando recursos naturais e energéticos [14].

O Resíduo de Raspas de Couro (RRC) é um material sólido, subproduto da produção de couro *wet blue* e industrialmente é um rejeito produzido em larga escala na

indústria do curtimento de couro [15]. O RRC não possui destinação final que seja ecologicamente amigável e assim como o RV e o RCC possui destinações que desperdiçam os recursos naturais e energéticos do material. Na literatura, as substituições de RRC como agregado do concreto possuem resultados positivos, ainda que sejam na maioria das vezes limitados a concretos não estruturais. Além disso, o emprego do RRC como AM se mostrou seguro, uma vez que o conteúdo de cromo trivalente está dentro dos parâmetros nacionais permitidos [16].

As substituições dos agregados tradicionais, areia e brita, por resíduos com perfil granulométrico compatível se mostram apelativas quanto a proporções de reciclagem de materiais, uma vez que os agregados possuem maior volume na produção de concreto, ainda que possuam menor apelo econômico quando comparadas a substituições no aglomerante. Além de que, pelo fato do concreto ser um produto com larga utilização, qualquer redução no desperdício de recurso do concreto acarreta um grande impacto na cadeia produtiva e extrativa de matéria-prima e minimiza o volume do descarte dos resíduos citados.

O Cimento Portland (CP) é o componente do concreto com maior valor monetário e com maior custo energético de produção. Um grande desafio na produção de concretos reciclados está em encontrar um substituto ao CP. Na busca por materiais que possam conferir os mesmos efeitos que o CP proporciona ao concreto, uma opção que é levantada é a utilização de cinzas de materiais descartados [17,18].

Assim sendo, esta dissertação propõe a estudar e avaliar as propriedades físicas da utilização de diferentes porcentagens individuais e conjuntas de RCC, RV, RRC e Cinzas de Couro (CC), na substituição do AM tradicional, areia, e pelo aglomerante, CP. A primazia deste trabalho visa potencializar a reciclagem destes materiais, mitigar os efeitos negativos da incorporação individual de cada agregado reciclado e por fim diminuir os impactos da produção de concreto e de resíduos sólidos provenientes da construção civil, da indústria do vidro e da indústria de curtimento de couro. Esses preceitos se dão em busca da possibilidade de contribuição ao alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Em especial são visados os objetivos 11 - Cidades e comunidades sustentáveis e no objetivo 12 - Consumo e produção responsáveis.

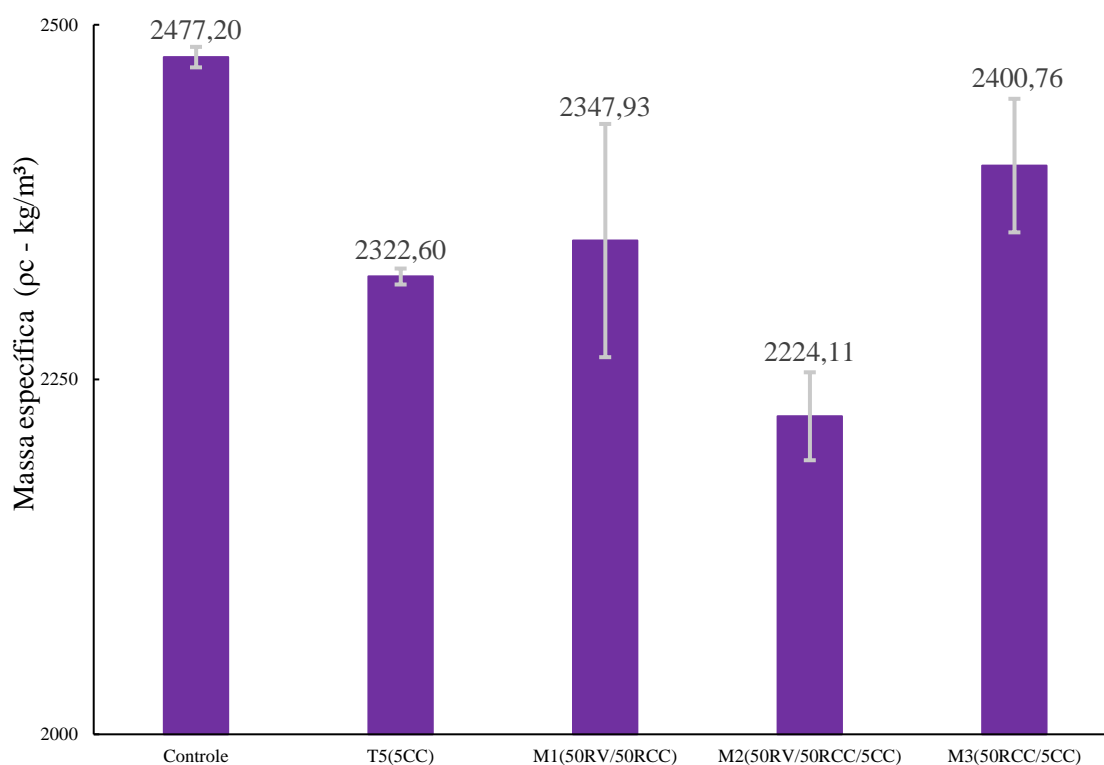


Figura 60. Massa específica: Controle, T5, M1, M2 e M3 (Autor).

6 CONCLUSÕES

Diante do apresentado conclui-se que nos testes para determinação dos índices físicos dos materiais reciclados propostos para uso como AM (RV, RCC e RRC), RV e RCC apresentaram indícios de possível compatibilidade para o uso em concreto. Por outro lado, RRC ainda que tenha tido resultados satisfatórios quanto a seus índices físicos isolados, apresentou particularidades muito limitadoras para seu uso como AM no concreto.

A adição de RV isoladamente provocou reações adversas ao concreto, entretanto quando em conjunto com RCC e CC este mostrou-se menos danoso ao material.

Incorporar RRC ao concreto se provou demasiadamente danoso, de modo que não foi possível propor um traço apto para uso com o resíduo nas condições e medidas estipuladas neste estudo.

Os testes de FTIR indicaram que RV e RCC não exerceram interações químicas com a pasta (CP + água), o que é indicativo que o agregado se manteve inerte. Por outro lado, a adição de CC implicou no surgimento de banda exclusiva ao traço T5. O que é um indício de que a adição de CC sem a presença de outro resíduo causou interações químicas na pasta.

No ensaio de espectroscopia Raman a banda de 1495 cm^{-1} , referente ao silicato tricálcio (alite) esteve presente nos espectros de T5, M2 e M3. Entretanto em T5 esta banda apresentou maior intensidade relativa quando comparada com M2 e M3. Como o alite é responsável pelo endurecimento precoce do concreto, a sua presença de modo acentuado em T5 pode ser um dos motivos de T5 ter apresentado o maior resultado de resistência à compressão aos 7 dias em relação aos traços M1, M2 e M3.

O RCC mostrou-se potencialmente apto para uso em concreto combinado com areia, RV e CC;

Os traços T2, T5, M1, M2 e M3 apresentaram resultados condizentes com o uso como concreto estrutural aos 28 dias. Entretanto, M1 e M3 apresentaram queda de resistência aos 60 dias e T5 e M2 apresentaram resultados de resistência ainda superior à 20 MPa aos 60 dias.

O uso de CC como aditivo ao aglomerante impulsionou a resistência do concreto aos 28 dias, sendo o maior resultado de 32,51 MPa para T5, porém aos 60 dias esse efeito teve menor impacto na resistência do concreto.

M1 e M3 apresentaram queda de resistência aos 60 dias, sendo essa queda possivelmente relacionada as estruturas internas dos traços, estes que apresentaram poros.

Os testes de EDS demonstraram que houve uma dispersão homogênea dos compósitos pelos traços T5, M1, M2 e M3, o que pode caracterizar um concreto com características mecânicas previsíveis e igualitárias.

Os ensaios de FRX apontaram que T5 e M2 tiveram uma concentração de Ca superior que o Controle, M1 e M3. A presença elevada de Ca pode ser um fator preocupante quanto a desencadear reações de carbonatação.

Por FRX foi possível confirmar que os traços com adição de CC não apresentaram altas concentrações de Cr em sua constituição, o que corrobora com os resultados apresentados no Anexo B.

Os testes de porosidade indicaram que M1 e M3 também apresentaram maior absorção de água, o que corrobora com a indicação da presença de porosidade aberta dos concretos.

Nenhum traço estudado apresentou resultado esperado quanto a resistência à tração por compressão diametral, uma vez que estes deveriam variar entre 7% e 8% do valor de resistência à compressão aos 28 dias.

T5, M1 e M3 apresentaram perfis de rompimento anormais no ensaio de resistência à tração por compressão diametral, o que é mais um indício, no caso de M1 e M3 de que a estruturação interna destes possui deficiências.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados compilados neste trabalho foram apresentados no Workshop do Instituto Nacional de Eletrônica Orgânica (INEO) de 2023 por meio do painel intitulado “*Incorporating construction waste, glass waste, and leather ashes in eco-friendly concrete: benefits and applications*”.

Também foram aceitos dois resumos para apresentação em forma de pôster no XXI B-MRS da Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais (SBPMat). Os trabalhos têm como título: “*Characterization of wet blue leather scrap ash for increased mechanical strength of concrete*” e “*Incorporating glass, construction, leather scraps waste and leather ashes in eco-friendly concrete: benefits and applications*”.

Foi ainda aceito para apresentação o pôster “Concreto sustentável com incorporação de resíduo de construção civil, vidro, raspa e cinza de couro” para ser veiculado no evento 5ª Reunião Técnica do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais.

Como fruto deste trabalho foi publicado o artigo:

QUATROQUE, V. H. S. S., SIMÕES, R. D., & JOB, A. E. Concrete in Brazil: Brief history, current challenges, and proposals for a sustainable future. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v. 19, n. 4. nov./2023.

E encontra-se em processo de submissão o artigo intitulado “*Sustainable concrete with incorporation of civil construction waste, glass, leather scrap and leather ashe*” a ser submetido na revista *Construction and Building Materials*.

Por fim para estudos futuros com os traços aqui estudados sugere-se a utilização e testagens de outras porcentagens de substituições de resíduos, sobretudo na utilização de cinzas de couro como aglomerante. Além da continuidade da caracterização dos traços, em especial T5 e M2, por meio da aplicação de técnicas para a determinação de índices físicos do concreto como resistência à fogo, condutividade térmica e acústica.

REFERÊNCIAS

- [1] DEGANI, J. O Impacto e a Importância da Construção Civil no Brasil. SIENGE. Set./2022 Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/construcao-civil-no-pais/>. Acesso em: 17/01/2023.
- [2] CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, CBIC. Setor de construção civil tem expectativas de crescimento para 2023. Brasil, 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/setor-de-construcao-civil-tem-expectativas-de-crescimento-para-2023/>. Acesso em: 17/01/2023.
- [3] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?t=destaques>. Acesso em: 17/01/2023.
- [4] LASCARRO, M. A Federação Ibero-americana do Concreto Pré-misturado (FIHP) analisa os principais números da indústria. Construção Latino Americana (CLA). 2017.
- [5] SÁ, M. V. O. de, MALHEIROS, A. J. de A., SANTANA, C. G. de. A importância da resolução CONAMA 307 para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil. Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável (CEDS), n. 9, p.10. ago/dez – 2018.
- [6] BRASIL, Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).
- [7] JOHN, V. M. Materiais de construção e o meio ambiente. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: IBRACON, 2017. p. 2-40.
- [8] SILVA FILHO, A. F. Gestão dos resíduos sólidos das construções prediais na cidade de Natal-RN. Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Natal, 2005.
- [9] ANGULO, S.C. *et al.* Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Eng. Sanit Ambient. São Paulo, p. 299-306. jul./2011.
- [10] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002.
- [11] AFRICANO, N. de A. Concreto com agregado graúdo reciclado de resíduo da construção e demolição para fins estruturais. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Estadual Paulista (UNESP). Bauru, 2021.
- [12] LUIZ, A. C. R., VILELA, D. S., NETO, G. P. da S. Utilização do vidro moído como agregado para produção de concreto. Anais Colóquio Estadual de Pesquisa e Multidisciplinaridade & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2018.
- [13] CEMPRE. 2018. Consórcio Empresarial para a Reciclagem, disponível em: www.cempre.org.br. Acesso em: 20/08/2022.

- [14] ZHANG, C. *et al.* Macro-micro mechanical properties and reinforcement mechanism of alkali-resistant glass fiber-reinforced concrete under alkaline environments. *Construction and Building Materials*. v. 368. mar./2023.
- [15] RIBEIRO, D. V.; YUAN, S. Y.; MORELLI, M. R. Efeito da adição de serragem de couro tratada quimicamente nas propriedades do cimento Portland. *Química Nova*, v. 34, n. 6, p. 979-983, mar./2011.
- [16] AQUIM, P. M. *et al.* Novel solidification/stabilization process of wet blue leather waste to produce recycled lightweight aggregates. *Waste and Biomass Valorization*. v. 14. jul. /2022.
- [17] VU, V. *et al.* The Effect of Wood Ash as a Partial Cement Replacement Material for Making Wood-Cement Panels. *Materials*. v. 12. ago. /2019.
- [18] SIDDIQUE, R. BELARBI, R. *Sustainable Concrete Made with Ashes and Dust from Different Sources*. Woodhead Publishing. 1ª edição. Woodhead Publishing. 2021.
- [19] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.655 – Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2022.
- [20] DUNSTETTER, F., NOIRFONTAINE, M.N., COURTIAL, M. Polymorphism of tricalcium silicate, the major compound of Portland cement clinker: 1. Structural data: review and unified analysis. *Cement and Concrete Research*. v. 6, n. 1, p. 39-53, jan. /2006.
- [21] JOLICOEUR, C. SIMARD, M. Chemical admixture-cement interactions: Phenomenology and physico-chemical concepts. *Cement and Concrete Composites*. v. 20, n. 2-3, p. 87-101, 1998.
- [22] BYE, G. C. *Portland Cement: Composition, Production and Properties*. 1 ed. Nova Iorque; Pergamon Press, 1983.
- [23] SCIENCE MUSEUM. *Building the modern world: Concrete and our environment*. Science Museum, Reino Unido. Disponível em: <https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/everyday-wonders/building-modern-world-concrete-and-our-environment#:~:text=The%20environmental%20impact%20of%20concrete,-Concrete%20is%20now&text=Cement%20is%20the%20key%20ingredient%20that%20makes%20concrete%20such%20a,of%20it%20globally%20every%20year>. Acesso em: 29/12/2022.
- [24] PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Concreto & Construções*. v. 37, n. 53, p. 14-19. jan.-fev./2009.
- [25] BUNDER, J. O concreto: sua origem, sua história. *Disciplina: Tecnologia do concreto aplicado à arquitetura e urbanismo, programa pós-graduação – Tecnologia da arquitetura*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP) São Paulo, 2016.
- [26] WARD-PERKINS, J. B. *Roman Imperial Architecture*. Yale; The Yale University Press Pelican History of Art, p. 532; 1992.
- [27] KAEFER, L. F. *A evolução do concreto armado*. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, São Paulo, 1998. Disponível em:

- <https://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>. Acesso em: 03/03/2023.
- [28] MOUSSAR, M., GARIBALDI, P., The Invention of Reinforced Concrete (1848 – 1906). In: HORDIJK, D., LUKOVIĆ, M. (eds) High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet. Springer, Holanda, 2017.
- [29] VASCONCELOS, C. A. Concreto no Brasil: Recordes, Realizações, Histórias. Editora Pini, São Paulo, 1992.
- [30] SANTOS, R. E. A armação do concreto no brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. 2008. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- [31] FREITAS, M. L. Modernidade concreta: As grandes construtoras e o concreto armado no Brasil, 1920 a 1940. 2011. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [32] TELLES, P. C. S. História da Engenharia no Brasil. Século XX. Rio de Janeiro, CLAVERO, 1994.
- [33] LEHNE, J. PRESTON, F., Making concrete change: innovation in low-carbon cement and concrete. Chatham House Report. Jun./2018. Disponível em: <https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete>. Acesso em: 06/01/2023.
- [34] TIMPERLEY, J. Why cement emissions matter for climate change. Carbon Brief. set. /2018.
- [35] BRITO, J. KURDA, R. The past and future of sustainable concrete: A critical review and new strategies on cement-based materials. Journal of Cleaner Production, v. 281, Jan./2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620336039>. Acesso em: 08/01/2023.
- [36] FLOWER, D. J. M. SANJAYAN, J. G. Green house gas emissions due to concrete manufacture. The International Journal of Life Cycle Assessment. v. 12, n. 282, mar. /2007.
- [37] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. Brasil, 2022.
- [38] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.697 – Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.
- [39] VOTORANTIM CIMENTOS. Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ (NBR 14725-4/2009). Rio Branco do Sul – PR. 2012.
- [40] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS 7.211 – Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2022.
- [41] HASPARYK, N; P. Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –

- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p.326. 2005.
- [42] ANDOLFATO, R. P. Controle Tecnológico básico do concreto. Universidade estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira -SP, 2002.
- [43] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto – 2º Edição – Ed. Pini, São Paulo, 1997.
- [44] ALHADAS, M. F. S. Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto. Dissertação (Mestrado Construção Civil). Universidade federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.126. 2008.
- [45] SARTORI, M. R., SANTOS, W. S., ESTEVES, J. S. Análise da variação do ar aprisionado no concreto usinado com aplicação de diferentes proporções de agregado miúdo. estudo de caso: areia natural e areia artificial. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 05, Vol. 15, pp. 73-104. maio de 2021.
- [46] AVRAMOV, I., ZANOTTO E.D., PRADO, MO. Glass-forming ability versus stability of silicate glasses. II. Theoretical demonstration. J Non Cryst Solids. v. 320, n. 1-3, p. 9-20, jun. /2003.
- [47] SERELIS, E. VAITKEVICIUS, V. Utilization of glass shards from municipal solid waste in aluminium-based ultra-lightweight concrete. Construction and Building Materials. v. 350. ago. /2022.
- [48] SINGH, H. SIDDIQUE, R. Utilization of crushed recycled glass and metakaolin for development of self-compacting concrete. Construction and Building Materials. v. 348. set. /2022.
- [49] PAUL, D. BINDHU, K.R., MATOS, A. M., DELGADO, J. Eco-friendly concrete with waste glass powder: A sustainable and circular solution. Construction and Building Materials. v. 355. Nov./2022.
- [50] SHI, C. ZHENG, K. A review on the use of waste glasses in the production of cement and concrete. Resources Conservation & Recycling. v. 52. P. 234-247. dez. /2007.
- [51] ABDELLI, H. E. MOKRANI, L. KENNOUCHE, S. AGUIAR, J.L.B. Utilization of waste glass in the improvement of concrete performance: A mini review. Waste Management & Research. V.38, n. 11, p. 1204-1213. jul./2020.
- [52] QAIDE, S. *et al.* Concrete containing waste glass as an environmentally friendly aggregate: A review on fresh and mechanical characteristics. Materials. v.15, n. 6222. set. /2022.
- [53] SAFIUDDIN, M. *et al.* Use of recycled concrete aggregate in concrete: a review. Journal of Civil Engineering and Management, v. 19, out. /2013.
- [54] WANG, H., *et al.* Effect of recycled concrete aggregate with different degrees of initial alkali-aggregate reaction damage on the mechanical behavior and porosity of self-compacting recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, v. 363, jan. /2023.
- [55] POON, C., CHAN, D. The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. Resources

- Conservation & Recycling, v. 50, p. 293-305, jan. /2007.
- [56] ŞİMŞEK, O., SEFIDEHKHAN, H. P., GÖKÇEB, H.S. Performance of fly ash-blended Portland cement concrete developed by using fine or coarse recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 357, nov. /2022.
- [57] ALGOURDIN, N., *et al.* Effect of fine and coarse recycled aggregates on high-temperature behaviour and residual properties of concrete. *Construction and Building Materials*, v. 341, jul. /2022.
- [58] KIM, J. Influence of quality of recycled aggregates on the mechanical properties of recycled aggregate concretes: Issu overview. *Construction and Building Materials*, v. 328, abr. /2022.
- [59] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15.116 – Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.
- [60] MONTEIRO, J. H. P. *et al.* Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), 2001.
- [61] GRABIEC, A.M., ZAWAL, D., RASAQ, W.A. The effect of curing conditions on delected properties of reclycled aggregate concrete. *Applied Sciences*. V. 4441, abr. /2020.
- [62] AJMANI, H., *et al.* Evaluation of concrete Stregth made with recycled aggregate. *Buildings*, v. 56, mar./2019.
- [63] CANHADA, J. C. S. Produção de concreto com resíduos sólidos de curtumes tipo “wet blue” a partir da substituição parcial de agregado miúdo. Dissertação (Mestrado em Ciência e tecnologia de materiais). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2021.
- [64] MENDES, V. R. V., *et al.* Evaluation of incorporation of a leather waste powder in mortars for construction industry. *Materials Science Forum*, v. 820, p. 558-563, jun. /2015.
- [65] A.L.R.S. Tachard: Avaliação da Resistência Mecânica de Argamassas de Cimento Portland Contendo Serragem de Couro Tratada em Meio Ácido. Mestrado (Dissertação). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar/DEMA). São Carlos, 2006.
- [66] CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUME DO BRASIL, CICB. Relatório setorial: Estudo do setor de curtumes no Brasil. Brasil. 2022. Disponível em: <https://cicb.org.br/storage/files/repositories/php6PfdVM-cic-institucional-relatorio-semestral-2022-digital-af-compressed.pdf>. Acesso em: 17/01/2023.
- [67] SANTOS, R. J. Obtenção de compósitos de borracha natural com resíduo industrial de couro reticulados com diferentes peróxidos. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, P. 122. 2014.
- [68] ABU-JDAYIL, B., *et al.* Traditional, state-of-the-art and renewable termal building insulation materials: an overview. *Construction and Building Materials*, v. 214, p. 709-735, jul. /2019.
- [69] SILVEIRA, V. S., *et al.* Novel solidifcation/stabilization process of wet blue leather waste to

- produce recycled lightweight aggregates. *Waste and Biomass Valorization*, v. 14, p. 377-387, jul./2022.
- [70] LAKRAFLI, H., *et al.* Effect of wet blue chrome shaving and buffing dust of leather industry on the thermal conductivity of cement and plaster based materials. *Construction and Building Materials*, v. 30, p. 590-596, mai./2012.
- [71] CHARITHA, V. *et al.* Use of different agro-waste ashes in concrete for effective upcycling of locally available resources. *Construction and Building Materials*, v. 285, mar./2021.
- [72] SILVA, N., *et al.* Caracterização de cinzas volantes para aproveitamento cerâmico. *Cerâmica*, v. 45, n. 296. dez./1999.
- [73] ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 2022.
- [74] KALADHARAN, G, RAJABIPOUR, F. Evaluation and beneficiation of high sulfur and high alkali fly ashes for use as supplementary cementitious materials in concrete. *Construction and Building Materials*, v. 339, jul./2021.
- [75] KANNING, R. C., *et al.* Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement. *Construction and Building Materials*, v. 54, p. 460-465, mar./2014.
- [76] PEDROZO, E. C. Estudo da utilização de cinza da casca do arroz residual em concretos estruturais: uma análise da durabilidade aos cloretos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS, p.143. 2008.
- [77] BARBOSA, R., *et al.* Concretes containing biomass ashes: Mechanical, chemical, and ecotoxic performances. *Construction and Building Materials*, v. 48, p. 457-463. nov./2013.
- [78] ABU-JDAYIL, B, MOURAD, A., HUSSAIN, A. Thermal and physical characteristics of polyester–scrap tire composites. *Construction and Building Materials*, v. 105, fev./2016.
- [79] NALON, G. H., *et al.* Recycling waste materials to produce self-sensing concretes for smart and sustainable structures: A review. *Construction and Building Materials*, v. 325, mar./2022.
- [80] NAYAK, D. K., *et al.* Fly ash for sustainable construction: A review of fly ash concrete and its beneficial use case studies. *Cleaner Materials*, v. 6. dez./2022.
- [81] BASEGIO, T. *et al.* Production of materials with alumina and ashes from incineration of chromium tanned leather shavings: Environmental and technical aspects. *Journal of Hazardous Materials*, v. 137, n. 2, p. 1156-1164. Set./2006.
- [82] SOUZA, M. H. B. Influência do polímero superabsorvente em argamassas autoadensáveis para empreendimentos hidráulicos. Dissertação (Mestrado profissional em Engenharia Hidráulica). Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá, 2022.
- [83] FIEGENBAUM, R. Avaliação do potencial pozolânico da cinza de sabugo de milho. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade do Vale do Taquari (Univates), Lajeado, 2020.

- [84] PAUMGARTTEN, M. D., *et al.* Characterization and evaluation of the Pozolanic activity index of red mud and manganese waste for the production of cementitious ternary mixtures. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 8, p. 85965-85979, ago./2021.
- [85] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 15.900-1 – Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.
- [86] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- [87] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 16.916: Agregado miúdo – determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, ABNT 2021.
- [88] ISSO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2.420/2017. Leather — Physical and mechanical tests — Determination of apparent density and mass per unit area. Suíça, 2017.
- [89] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 16.917: Agregado graúdo – determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, ABNT 2021.
- [90] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 9.939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro-RJ, ABNT, 2011.
- [91] BOHN, T. R., HERRMANN, T. D., TESTA, M., CANTARELLI, G. M., SOKOLOVICS, B. C. Determinação da umidade da areia. In: XIX Seminário de iniciação científica. Universidade regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. RS. 2011.
- [92] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 17.054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 2022.
- [93] SAMPAIO, Z. L. M., SOUZA, P. A. B. F., GOUVEIA, B. G. F. Analysis of the influence of the sugar cane bagasse ashes on mechanical behavior of concrete. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 7, n. 5, p. 626-647, ago./2014.
- [94] RODRIGUES, P. P. F. Parâmetros de Dosagem do Concreto. São Paulo, ABCP, 1998.
- [95] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, ABNT, 2020.
- [96] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 8.953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, ABNT 2015.
- [97] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

- [98] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2018.
- [99] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2011.
- [100] WITKOWSKI, H., KONIORCZYK, M. New sampling method to improve the reliability of FTIR analysis for Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*. v. 172, p. 196-203, mai./2018.
- [101] LEE, H. J., *et al.* A study for carbonation degree on concrete using a phenolphthalein indicator and Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. V. 6, n. 2, p. 95-101, nov./2012.
- [102] GEOGALI, B., TSAKIRIDIS, P. E. Microstructure of fire-damaged concrete. A case study. *Cement and Concrete Composites*. V. 27, n. 2, p. 255-259, fev/2005.
- [103] MALISKA, A. M. Microscopia eletrônica de varredura e microanálise. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 98 f. Santa Catarina, 2018.
- [104] MALIK, M., BHATTACHARYYA, S. K., BARAI, S. V. Microstructural Changes in concrete: Postfire scenario. *Journal of Materials in Civil Engineering*. V. 33, n. 2, fev/2021.
- [105] BAZÁN, A. M., *et al.* Study of the rust penetration and circumferential stresses in reinforced concrete at early stages of an accelerated corrosion test by means of combined SEM, EDS and strain gauges. *Construction and Building Materials*. v. 184, p. 655-667, set./2018.
- [106] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.779. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, ABNT, 2012
- [107] SALOMÃO, M. F. Estudo da umidade ascendente em painéis de alvenaria de blocos cerâmicos. Uberlândia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2012.
- [108] Wesolowska, M., KACZMAREK, A. The Effect of Modifications on Humidity Parameters of Cement Mortar. *Materials Science Forum*, v. 865, p. 178-182, ago/2016.
- [109] CARRIJO, P. M. Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, p. 146, 2005.
- [110] CAMPITELI, V. C. Concreto de cimento Portland: um método de dosagem. *Engenharia Civil Universidade do Minho (UM)*. N. 20, p. 5-16. 2004.
- [111] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.
- [112] THÉRÉNÉ, F, *et al.* Water absorption of recycled aggregates: Measurements, influence of

- temperature and practical consequences. *Cement and Concrete Research*. V.137, n.106196, nov/2020.
- [113] SCANDIUZZI, L., ANDRIOLO, F. R. *Concreto e seus materiais: propriedades e ensaios*, 1. Ed, Pini, São Paulo, 1986.
- [114] Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT. *Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2018.
- [115] DIAS, J. C. R., *et al.* Comportamento do concreto reforçado com cavacos de aço e alumínio: resistência à tração por compressão diametral. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 51880-51889, jun./2021.
- [116] DENER, M., KARATAS, M., MOHABBI, M. High temperature resistance of self-compacting alkali activated slag/Portland cement composite using light weight aggregate. *Construction and Building Materials*, v. 290, jul/2021.
- [117] SANTOS, V., *et al.* Application of Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR) coupled with multivariate regression for calcium carbonate (CaCO₃) quantification in cement. *Construction and Building Materials*, v. 313, dez/2021.
- [118] PINARCI, I., KOCAK, Y. Hydration mechanisms and mechanical properties of pumice substituted cementitious binder. *Construction and Building Materials*, v. 335, abr./2022.
- [119] ZHAN, B. J., *et al.* Characterization of C–S–H formed in coupled CO₂–water cured Portland cement pastes. *Materials and Structures*, v. 51, n. 92, jul./2018.
- [120] KUPWADE-PATIL, K., *et al.* Use of silica fume and natural volcanic ash as a replacement to Portland cement: Micro and pore structural investigation using NMR, XRD, FTIR and X-ray microtomography. *Construction and Building Materials*, v. 158, jan/2018.
- [121] PATHAK, R. P., PANKAJ, S., RATNAM, M. Characterisation of Leachate Material from Dam Concrete by X-Ray Diffractometer and FTIR. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, v. 2, n. 4, p. 58-63, out./2012.
- [122] AL-KHEETAN, M. J., RAHMAN, M. M., CHAMBERLAIN, D. A. Fundamental interaction of hydrophobic materials in concrete with different moisture contents in saline environment. *Construction and Buildings Materials*, v. 207, p. 122-135, mai./2019.
- [123] GRITCO, A., *et al.* Thermal and infrared analyses of aluminosilicate glass systems for dental implants. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, v. 7, n. 6, p. 2845-2847, dez./2005.
- [124] DAS, J. K., PRADHAN, B. Effect of cation type of chloride salts on corrosion behaviour of steel in concrete powder electrolyte solution in the presence of corrosion inhibitors. *Construction and Buildings Materials*, v. 208, p. 175-191, mai./2019.
- [125] THIRUPPATHI, K, *et al.* Effect of Fly Ash and Water in Hydrated Srpc-A Ftir Study. *Applied*

- Physics Research, v. 1, n. 2, p. 61-69, nov./2009.
- [126] PARTHASARATHY, P., *et al.* Microstructural and Morphological Studies of Ordinary Portland Cement Paste and Fly Ash based Geopolymer in the presence of Chloride Ions. *Advances in Construction Materials and Systems*, v. 2, p. 648-657, set./2017.
- [127] BATISTA, M. A., GODINHO, D. dos S. da S. Avaliação da resistência residual de concretos submetidos a elevadas temperaturas por meio de análise macro e microestrutural. *Universidade do Extremo Sul catarinense - Unesc*, p. 1-19, fev./2017.
- [128] ANBALAGAN, G., PRABAKARAN, A. R., GUNASEKARAN, S. Spectroscopic characterization of indian standard sand. *Journal of Applied Spectroscopy*, v. 77, n. 1 fev./2010.
- [129] JOSÉ, A., *et al.* Characterization of cement stabilized pond ash using FTIR spectroscopy. *Construction and Building Materials*, v. 263, ago./2020.
- [130] CHOUHAN, R. K., *et al.* Rice-husk-based superplasticizer to increase performance of fly ash geopolymer concrete. *Emerging Materials Research*, v. 7, n. 3, p. 169-177, set./2018.
- [131] PHAIR, J. W., VAN DEVENTER, J. S. J., SMITH, J. D. Mechanism of Polysialation in the Incorporation of Zirconia into Fly Ash-Based Geopolymers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 39, n. 8, p. 2925-2934, jul./2000.
- [132] PHAIR, J. W., VAN DEVENTER, J. S. J. Characterization of Fly-Ash-Based Geopolymeric Binders Activated with Sodium Aluminate. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 41, n. 17, p. 4242-4251, jul./2002.
- [133] LODEIRO, I. G., *et al.* Effect of alkalis on fresh C-S-H GELS. Ftir analysis. *Cement and Concrete Research*, v. 39, jan./2009.
- [134] YUNSHENG, Z., WEI, S., ZOGJIN, L. Coomposition design and microstructural characterization of calcined kaolin-based geopolymer cement. *Applied Clay Science*, v. 47, n. 3-4, fev./2010.
- [135] JOHNSTON, C. T., PREMACHANDRA, G. S. Polarized ATR-FTIR study of smectite in aqueous suspension. *Langmuir*, v. 17, p. 3712-3718, fev./2001.
- [136] PULIGILLA, S., MONDAL, P. Co-existence of aluminosilicate and calcium silicate gel characterized through selective dissolution and FTIR spectral subtraction. *Cement and Concrete Research*, v. 70, P. 39-49, jan./2015.
- [137] CAO, R., *et al.* Interpreting the early-age reaction process of alkali-activated slag by using combined embedded ultrasonic measurement, thermal analysis, XRD, FTIR and SEM. *Composites Part B: Engineering*, v. 186, n. 107840, abr./2020.
- [138] YUE, Y, *et al.* Characterisation of carbonated Portland cement paste with optical fibre excitation Raman spectroscopy. *Construction and Building Materials*, v. 135, jan./2017.
- [139] PEŠKOVÁ, S., *et al.* Raman spectroscopy structural study of fired concrete. *Ceramics Silikáty*, v. 55, n. 4, p. 410-417, out./2011.

- [140] IBARRONDO, I, *et al.* Portable Raman can be the new hammer for architects restoring 20th-century built heritage elements made of reinforced concrete. *Journal of Raman Spectroscopy*, v. 52, n. 1, p. 109-122, jan./2021.
- [141] PEREZ-ALONSO, K. Analysis of bulk and inorganic degradation products of stones, mortars and wall paintings by portable Raman microprobe spectroscopy. *Anal Bioanal Chem*, v.379, p. 42-50, jan./2004.
- [142] KHOLODOV, A., *et al.* Identification of cement in atmospheric particulate matter using the hybrid method of laser diffraction analysis and Raman spectroscopy. *Heliyon*, v. 6, n. 2, feb./2020.
- [143] LEEMANN, A. Raman microscopy of alkali-silica reaction (ASR) products formed in Concrete. *Cement and Concrete Research*. V. 102, p. 41-17, ago./2017.
- [144] MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials – 3ª edição*. Edi. The McGraw-Hill Companies. California (EUA), 2006.
- [145] SILVA, D. de A. e, GEYER, A. L. B., PANTOJA, J. da C. Porosidade do concreto versus forma do agregado graúdo. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.6, n.8, p.60359-60376, ago./2020.
- [146] AMIANTI, M.; BOTARO, V.R.; Concreto impregnado com polímero (CIP): uso e aplicação do EPS reciclado para redução da permeabilidade de superfícies de concreto. *Revista Matéria*, v. 13, n. 4, p. 664 – 673, 2008.
- [147] KAZMI, S. M., *et al.* Effect of macro-synthetic fibers on the fracture energy and mechanical behavior of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, v. 189, p. 857-868, nov./2018.
- [148] CARVALHO, E. F. T. Estudo da resistência ao fogo do concreto de alto desempenho com metacaulim e adição de fibras. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 177 p., 2006.
- [149] DIAMOND, S. Aspects of concrete porosity revisited. *Cement and Concrete Research*, v. 29, n. 8, p. 1181-1188, ago./1999.
- [150] WILSON, W., *et al.* The micromechanical signature of high-volume natural pozzolan concrete by combined statistical nanoindentation and SEM-EDS analyses. *Cement and Concrete Research*, v. 91, p. 1-12. jan./2017.
- [151] CASANOVA, R. F., *et al.* Analysis of the incorporation of sugarcane residues in cementitious matrices by X-ray fluorescence and X-ray diffraction spectrometry: a brief review. XVII International Conference on Pathology and Construction Rehabilitation. Fortaleza, jun./2021.
- [152] GAMA, M. F. Carbonatação do concreto: causas, consequências e tratamento, III Congresso Online de Engenharia de Materiais. Brasil, abr./2021.