

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIDADES INTELIGENTES E  
SUSTENTÁVEIS**

**DARA MEIRA DA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ADERÊNCIA DE  
ARGAMASSAS DOSADAS COM PÓ DE BRITA E AREIA NATURAL**

**SÃO PAULO  
2023**

**DARA MEIRA DA COSTA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ADERÊNCIA DE  
ARGAMASSAS DOSADAS COM PÓ DE BRITA E AREIA NATURAL**

**ASSESSMENT RESISTANCE TO COMPRESSION AND ADHERENCE OF DOSED  
MORTARS WITH BRITA POWDER AND NATURAL SAND**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Cidades Inteligentes Sustentáveis.

Orientador: Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho (Uninove)

Co-orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Joana Paula Ribeiro Machado - (Universidade de Coimbra)

**SÃO PAULO  
2023**

Costa, Dara Meira da.

Avaliação da resistência à compressão e aderência de argamassas dosadas com pó de brita e areia natural. / Dara Meira da Costa. 2023. 83 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2023.

Orientador (a): Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho.

1. Argamassa de assentamento. 2. Argamassa de revestimento. 3. Pó de brita. 4. Pó de pedra. 5. Sustentabilidade.

I. Paschoalin Filho, João Alexandre.

II. Título.

CDU 711.4

# **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS DOSADAS COM PÓ DE BRITA E AREIA NATURAL**

**Por**

**Dara Meira da Costa**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, apresentada à Banca examinadora formada por:

---

Prof. Dr. João Alexandre Paschoalin Filho – Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis – Universidade Nove de Julho.

---

Prof. Dra. Joana Ribeiro – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal

---

Prof. Dr. António José Guerner Dias - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal.

---

Prof. Dr. David de Carvalho – Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

---

Prof. Dr. Luiz Fernando R. Pinto – Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis – Universidade Nove de Julho.

**São Paulo, 20 de março de 2023**

*Dedico este trabalho a Jeová Deus. Aos meus pais, que representam força, coragem e determinação. Ao meu querido esposo, que me apoiou em toda a jornada. Às minhas irmãs, por sempre me incentivarem. À minha tia Noêmia, pelo imensurável amor e carinho. Às minhas amigas, Karen, Edivânia e Milena, por me apoiarem e me erguerem quando titubeei.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente ao meu orientador, que foi meu professor na graduação e hoje tenho a honra de tê-lo como meu orientador e mentor, Dr. João Alexandre Paschoalin Filho, agradeço-o pelos conselhos, ensinamentos, colaboração, paciência, e cooperação para o desenvolvimento do trabalho.

A minha co-orientadora, Joana Ribeiro, da universidade de Coimbra, que com seu olhar técnico, sempre propôs melhorias para o meu trabalho e me inspira como profissional.

A Uninove, por me propiciar aprendizado com os melhores professores das áreas estudadas.

A Unicamp, por ceder o espaço do laboratório durante dois meses para conclusões das análises, em especial, ao Dr. David de Carvalho e ao mestre Paulo Gustavo Krejci Nunes, laboratorista da Unicamp, que me propiciou incríveis semanas de aprendizado e troca mútua de conhecimento.

A oportunidade de bolsa integral pela CAPES, sem ela, não teria condições de realizar este mestrado.

Aos meus amigos de turma: Sara, Evandro, Milena, Micaele e Mateus, aos quais compartilhamos alegrias e tristezas, como uma família, que mesmo distante fisicamente por conta da pandemia, estivemos unidos colaborando com o desenvolvimento individual e coletivo, vocês foram minha alegria e motivação para prosseguir.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)*

## RESUMO

A construção civil é um dos maiores consumidores de matérias-primas naturais no mundo e, neste aspecto, tem voltado a atenção para a preservação ambiental. A retirada de areia de um rio pode agredir sua calha natural, levar a um aumento de vazão e intensificar a degradação das margens. A utilização de agregados alternativos surge a partir do pensamento do esgotamento dos agregados convencionais. Este estudo propõe a utilização de pó de brita (ou pó de pedra), com intuito de propiciar a substituição de agregados naturais, diminuindo assim, o impacto ambiental das atividades de construção. Para tal, foi avaliada técnica e economicamente a substituição de areia natural em argamassas de assentamento e revestimento por pó de brita, que é o resíduo da exploração de pedreiras. Dessa forma, por meio da condução de uma pesquisa experimental e ensaios laboratoriais, verificou-se que o pó de brita quando comparado a areia, tem suas resistências elevadas quando os corpos de prova foram submetidos a saturação. Além disso, para revestimento, obteve-se resultados ligeiramente mais elevados ou equivalentes ao da argamassa produzida com areia. Ressalta-se que o agregado alternativo tem custo com cerca de 30,7 % mais barato que a areia, o que viabiliza sua compra e utilização. Destaca-se que, esta pesquisa apoia-se na importância da sustentabilidade em obras civis e seu papel na construção de cidades inteligentes. Dessa forma, pode-se considerar a solução proposta como sustentável, pois abarca em um relevante pilar social no que se refere a reciclagem do resíduo, econômico na redução dos custos e o ambiental na redução do uso de recursos naturais.

**Palavras-chave:** Argamassa de assentamento; Argamassa de revestimento; Pó de brita; Pó de pedra, sustentabilidade.

## ABSTRACT

Civil construction is one of the largest consumers of natural raw materials in the world, and in this respect, attention is focused on environmental preservation. The removal of sand from a river can degrade its natural channel, lead to an increase in flow and intensify the destruction of the banks. The use of alternative aggregates arises from the thought of the depletion of conventional aggregates. This study proposes the use of “gravel powder (stone powder), with the aim of providing the replacement of natural aggregates, thus observing the environmental impact of construction activities. To this end, technically and economically, the replacement of natural sand in laying and coating mortars with stone powder, which is the residue of quarrying, was evaluated technically and economically. Thus, by conducting experimental research and laboratory tests, it was found that crushed stone powder, when compared to sand, has higher resistances when the specimens were protected from saturation. Furthermore, for coating, satisfactory results were obtained that were higher or equivalent to those of mortar produced with sand. It should be noted that the alternative aggregate costs about 30.7% less than sand, which makes its purchase and use feasible. It is noteworthy that this research is based on the importance of sustainability in civil works and its role in the construction of smart cities. In this way, one can consider a proposed solution as sustainable, as it encompasses a relevant social pillar with regard to waste recycling, an economic pillar in reducing costs and an environmental pillar in reducing the use of natural resources.

**Keywords:** Laying mortar; Coating mortar; Gravel powder; Stone powder, Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	19
Figura 2. Dimensões da Sustentabilidade.....	21
Figura 3. Camadas do revestimento em argamassa.....	24
Figura 4. Pó de brita na pedreira Santa Isabel, localizada no bairro Morro Grande, município de Santa Isabel, Estado de São Paulo .....	26
Figura 5. Pó de brita - características físicas (Grãos miúdos semelhante a areia).....	27
Figura 6. Fluxograma geral da dissertação.....	32
Figura 7. Preparo da argamassa.....	36
Figura 8. Pesagem corpo de prova.....	36
Figura 9. Armazenamento corpos de prova em câmara úmida. ....	37
Figura 10. Armazenamento corpos de prova em saturação e câmara úmida. ....	37
Figura 11. Pesagem e medidas corpos de prova desmoldados. ....	37
Figura 12. Ensaio de ultrassom após desmoldagem. ....	38
Figura 13. Momento da ruptura do corpo de prova.....	38
Figura 14. Ensaio a compressão com modulo de elasticidade (com extensômetro) .....	39
Figura 15. Projeto de Painel vista frontal .....	40
Figura 16. Projeto de painel vista lateral .....	40
Figura 17. Execução do painel - vista frontal.....	41
Figura 18. Execução do painel - vista lateral.....	41
Figura 19. Painéis chapiscados com areia .....	42
Figura 20. Painéis chapiscados com pó de brita.....	42
Figura 21. Realização do emboço nos painéis 2 e 3.....	42
Figura 22. Reboco feito no painel três.....	43
Figura 23. Painéis com revestimentos finalizados, prontos para o teste de aderência a tração. ....	43
Figura 24. Perfuração do substrato com serra copo com diâmetro de 50mm. ....	43
Figura 25. Painéis com perfurações feitas, nomeadas de 1 a 18. ....	44
Figura 26. Perfurações realizadas no painel 3. ....	44
Figura 27. Pastilhas aplicadas nos painéis.....	44
Figura 28. Pastilha aplicada base limpa. ....	45
Figura 29. Ensaio de arrancamento (teste de aderência a tração).....	45
Figura 30. Ensaio de arrancamento (teste de aderência a tração).....	45
Figura 31. Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento.....	46
Figura 32. Pesos específicos determinados para as amostras coletadas .....	48
Figura 33. Comparação entre as curvas granulométricas: pó de brita e areia. ....	49
Figura 34. Velocidades de propagação ultrassônica (VPU) para CPs moldados com pó de brita.....	53
Figura 35. Velocidades de propagação ultrassônica (VPU) para CPs moldados com areia. ...	55
Figura 36. Resistência a compressão dos corpos de prova moldados com pó de brita. ....	56
Figura 37. Resistência a compressão dos corpos de prova moldados com areia natural. ....	57
Figura 38. Comparação entre as resistências a compressão para argamassas dosadas com areia e pó de brita (não saturado). Fonte: Dados da Pesquisa. ....	57
Figura 39. Módulos de elasticidade determinados para os diferentes tempos de cura (areia). ....	58
Figura 40. Módulos de elasticidade determinados para os diferentes tempos de cura (pó de brita). ....	58

Figura 41. Comparação entre as resistências ao arrancamento (28 dias). .....	60
Figura 42. Processo de tomada de decisão para escolha do tratamento estatístico utilizado. ..	61
Figura 43. Comparação entre as médias de resistência a compressão para 28 dias de cura.....	62
Figura 44. Comparação entre as médias de módulo de elasticidade para 28 dias de cura. ....	63
Figura 45. Comparação entre as médias de coeficiente de Poisson para 28 dias de cura. ....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Colocações da construção Civil para os ODS.....	20
Tabela 2. Espessuras indicadas para revestimentos internos e externos .....	25
Tabela 3. Resumo de requisitos para produção de argamassas .....	25
Tabela 4. Fases desenvolvidas da pesquisa .....	32
Tabela 5. Dimensões das peneiras .....	34
Tabela 6. Quantidade de CPs x idade de rompimento.....	36
Tabela 7. Critérios de resistência de aderência a tração (Ra) .....	40
Tabela 8. Peso específico aparente para a areia.....	47
Tabela 9. Peso específico aparente para a pó de brita .....	47
Tabela 10. Percentagem passantes nas malhas das peneiras .....	47
Tabela 11. Características granulométricas das amostras ensaiadas .....	49
Tabela 12. Dimensões dos corpos de prova moldados .....	50
Tabela 13. Ultrassom – Pó de brita com 7 dias de cura.....	51
Tabela 14. Ultrassom – Pó de brita com 7 dias de cura (Saturado).....	51
Tabela 15. Ultrassom – Pó de brita com 14 dias de cura.....	52
Tabela 16. Ultrassom – Pó de brita com 14 dias de cura (Saturado).....	52
Tabela 17. Ultrassom – Pó de brita com 28 dias de cura.....	52
Tabela 18. Ultrassom – Pó de brita com 28 dias de cura (Saturado).....	52
Tabela 19. Ultrassom – Areia com 7 dias de cura .....	53
Tabela 20. Ultrassom – Areia com 7 dias de cura (Saturada) .....	53
Tabela 21. Ultrassom – Areia com 14 dias de cura .....	54
Tabela 22. Ultrassom – Areia com 14 dias de cura (Saturada) .....	54
Tabela 23. Ultrassom – Areia com 28 dias de cura .....	54
Tabela 24. Ultrassom – Areia com 28 dias de cura (Saturada) .....	54
Tabela 25. Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Pó de brita não saturado	55
Tabela 26. Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Pó de brita saturado .....	55
Tabela 27. Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Areia não saturada .....	56
Tabela 28. Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Areia saturada.....	56
Tabela 29. Coeficientes de Poisson obtidos para as amostras ensaiadas .....	59
Tabela 30. Valores médio de resistência ao arrancamento da camada de chapisco (Rac) .....	59
Tabela 31. Valores médio de resistência ao arrancamento da camada de chapisco + emboço (Race).....	60
Tabela 32. Valores médio de resistência ao arrancamento da camada de chapisco + emboço + reboco (Raceb).....	60
Tabela 33. Comparação entre as resistências a compressão médias obtidas (amostras não saturadas).....	61
Tabela 34. Comparação entre os módulos de elasticidade aos 28 dias (amostras não saturadas) .....	62
Tabela 35. Comparação entre os coeficientes de Poisson (amostras não saturadas).....	63
Tabela 36. Comparação entre as resistências ao arrancamento.....	64
Tabela 37. Correlações obtidas entre VPU e resistência a compressão (28 dias) .....	64

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
1.1.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>18</i>
1.1.2	<i>Objetivos específicos .....</i>	<i>18</i>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>ARGAMASSAS .....</b>	<b>23</b>
2.3.1	<i>Propriedades das Argamassas .....</i>	<i>25</i>
2.3.2	<i>Argamassa obtida por meio da dosagem com pó de pedra .....</i>	<i>26</i>
<b>2.4</b>	<b>PESQUISAS CONDUZIDAS COM ARGAMASSAS ALTERNATIVAS .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5</b>	<b>A CONSTRUÇÃO CIVIL EM UMA CIDADE INTELIGENTE .....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2</b>	<b>AMOSTRAS UTILIZADAS NA PESQUISA.....</b>	<b>32</b>
3.2.1	<i>Pó de Brita.....</i>	<i>33</i>
3.2.2	<i>Cimento .....</i>	<i>33</i>
3.2.3	<i>Areia.....</i>	<i>34</i>
<b>3.3</b>	<b>AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ARGAMASSAS ...</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>DOSAGEM DA ARGAMASSA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>35</b>
<b>3.5</b>	<b>MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS-DE-PROVA.....</b>	<b>36</b>
<b>3.6</b>	<b>ENSAIOS DE COMPRESSÃO SIMPLES .....</b>	<b>38</b>
<b>3.7</b>	<b>ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO.....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS....ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>	
<b>4.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA MOLDADOS .....</b>	<b>50</b>

<b>4.3</b>	<b>ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>4.4</b>	<b>ENSAIOS DE ARRANCAMENTO DE ARGAMASSA .....</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>5.2</b>	<b>ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO.....</b>	<b>64</b>
<b>5.3</b>	<b>CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO E VPU .....</b>	<b>64</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A construção civil é o setor industrial que mais utiliza recursos naturais e emprega energia de forma intensiva, gerando impactos ambientais severos decorrentes de suas atividades (CASTANHEIRA *et al.*, 2016).

Todavia, a construção civil vem apresentando mudanças significativas voltadas à melhoria da sua cadeia produtiva e incremento da produtividade por meio do desenvolvimento de planos organizacionais e inovações tecnológicas, tais como a revisão e a produção de normas técnicas, a redução do desperdício em canteiros de obras, a utilização de sistemas industrializados e a formação de um sistema nacional de certificação.

O setor apresenta relevância significativa na economia do país. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2021) cada real aplicado na execução de moradias motivará mais R\$ 0,36 de investimentos na etapa subsequente (pós-obra). Além disso, o setor é responsável por grande parcela dos empregos gerados e representa 7% do Produto Interno Bruto (PIB) (Guggenberger & Rotondaro, 2021).

No entanto, mesmo provendo um papel significativo na economia, a construção civil é responsável pelo elevado consumo de recursos naturais, geração de resíduos sólidos, emissões de poeira, ruídos e gases de efeito estufa (GEE), sobretudo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que afeta o meio ambiente e provoca mudanças climáticas (Ighalo & AdeniyiI, 2020; Mohamad *et al.*, 2021).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela Organização das Nações Unidas (ODS-ONU), propõem uma agenda mundial para a construção e implementação de políticas públicas que visam guiar a humanidade até 2030. O objetivo de número nove, aborda a Indústria, Inovação e Infraestrutura e destaca que as edificações sustentáveis devem ser projetadas para garantir sua resiliência e adaptabilidade em meio às mudanças climáticas.

Segundo o relatório do *New Climate Economy* (2020), serão necessários US\$ 90 trilhões de investimento no setor de infraestrutura em todo o mundo nos próximos 15 anos para alcançar um futuro próspero de prédios com emissões zero.

Pode-se também destacar o objetivo onze, o qual discorre acerca de Cidades e Comunidades Sustentáveis. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), atualmente 55% da população mundial vive em áreas urbanas e a expectativa é de que esta proporção aumente para 70% até 2050. Por essa razão, é importante garantir a sustentabilidade das comunidades e das edificações a longo prazo.

Além disso, o objetivo doze destaca o processo de economia circular que ressalta o consumo e produção responsáveis: focados na eficiência energética, infraestrutura sustentável e acesso a serviços básicos. Este objetivo pode ser relacionado diretamente com a indústria de construção civil. Ela tem um papel importante na prevenção de resíduos por meio da redução, reciclagem e reutilização – princípios de economia circular, em que os recursos não são desperdiçados.

A argamassa (mistura de areia, cal e cimento) é um dos produtos cimentícios mais empregados na construção civil. Segundo Caldas e Toledo Filho (2019) a argamassa possui um papel fundamental no desempenho das edificações. Entretanto, sua utilização provoca impactos ambientais causados pela produção e extração dos seus materiais constituintes (os quais são não renováveis), como cimento, cal e areia (Passuello et al., 2019).

De acordo com Habert et al. (2020) a expectativa de urbanização para o futuro aponta que o consumo de materiais argamassados tende a crescer, tornando-se fundamental estratégias para diminuir os impactos ambientais de sua produção e torná-la mais sustentável.

Para Damasceno (2016) “a sustentabilidade na construção civil pode ser obtida por meio da exploração de recursos naturais de forma a prejudicar o menos possível o equilíbrio entre o meio ambiente e as comunidades”.

Por esta razão, aperfeiçoar a gestão da produção dos materiais de construção garante a melhoria da sustentabilidade dentro da construção civil e a diminuição do consumo de recursos naturais e de impactos relacionados a fabricação destes, podendo impactar positivamente no preço de seus produtos (Passuello et al. 2014; Carvalho et al., 2018).

Sendo assim, uma das formas de cooperar para o progresso sustentável do setor da construção civil é promover o uso consciente dos materiais de construção. E inserido neste cenário, destaca-se a utilização do agregado alternativo denominado pó de brita.

Hossain e Thomas (2019), Huang et al. (2020), Bitsiou e Giarma (2020) afirmaram que as avaliações de impacto de materiais de construção devem ser realizadas tendo como base o ciclo de vida destes. Neste aspecto, os esforços para dirimir os impactos no meio ambiente são improrrogáveis e demandam esforços coletivos, necessitando que empresas, governos e indivíduos atuem, repensando as formas de consumo e produção, estabelecendo políticas e alterando práticas.

Faz-se necessário conhecer a cadeia produtiva dos materiais de construção e os impactos associados, para compreender que a adoção de recursos que não agridem o meio ambiente pode ser usada nas obras.

Neste aspecto, esta dissertação tem foco em práticas construtivas, onde se aborda a conceituação e análises acerca do resíduo denominado pó de brita, como agregado alternativo para substituição da areia natural, considerando-se a dosagem de argamassas. Assim, esta dissertação parte da hipótese de que o uso de argamassas compostas por pó de brita, ao invés de areia natural, poderá consistir em uma alternativa ambientalmente eficiente, considerando-se aspectos técnicos.

Este estudo justifica-se pela importância em dirimir os problemas causados pela construção civil na atualidade, permitindo perceber que os problemas provêm de alguns fatores como: falta de materiais sustentáveis, descarte incorretos, não aproveitamento de resíduos, falta de tecnologias empregues, razões a qual demandam estratégias definidas que apontem soluções plausíveis.

Sabe-se que os desafios para utilização de métodos construtivos sustentáveis no setor da construção civil são diversos, mas, compreende-se que de fato consistem na redução de impactos e propiciam condições mais favoráveis aos seus usuários como: o consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído (Vagheti, Santos & Uliana, 2021).

## **1.1 OBJETIVOS**

### *1.1.1 Objetivo geral*

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a viabilidade técnica de substituição da areia natural por pó de brita na mistura de argamassas. Com intento em assinalar estratégias que cooperem para que as cidades se tornem mais eficientes por meio da utilização de recursos de sistemas construtivos sustentáveis.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

Os objetivos específicos visam:

- Estudar as dosagens areia natural e pó de brita e caracterizá-los de forma laboratorial;
- Verificar a resistência ao arrancamento (resistência de aderência à tração) em ambos os materiais estudados (areia e pó de brita) - ABNT NBR 13.528: 2010;
- Comparar por meio de ensaios as suas respectivas resistências e assinalar os resultados obtidos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e a Construção Civil

Quanto mais sustentável uma edificação, mais responsável essa será por tudo o que consome, gera, processa e descarta. Segundo as normas do Comitê Técnico da ISO (*International Organization for Standardization*), também é considerado conceito de edificação sustentável o seguinte:

Edificação sustentável é aquela que pode manter moderadamente ou melhorar a qualidade de vida e harmonizar-se com o clima, a tradição, a cultura e o ambiente na região, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, recicla materiais e reduz as substâncias perigosas dentro da capacidade dos ecossistemas locais e globais, ao longo do ciclo de vida do edifício (ISO/TC 59/SC3 N 459).

Para Kibert (1994, p. 117 como citado em Cortese et al., 2017, p. 104), “a construção sustentável pode ser considerada a gestão responsável por edificar um ambiente construído, levando em consideração os princípios básicos de proteção ao meio ambiente, e ecológicos evitando a degradação do solo e a utilização eficiente de recursos”.

No ano de 2015 houve a conferência da ONU, em Nova York, onde foi elaborada a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Assim, durante três dias com o objetivo de estabelecer metas como: a erradicação da pobreza, bem-estar para todos, direito à água potável, proteção ao meio ambiente etc.; a conferência resultou na criação dos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), apresentados na Figura 1, com a meta de serem alcançados até o ano de 2030 (UN, 2015).



Figura 1. 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Fonte: <https://gtagenda2030.org.br/ods/>

O ODS 11 tem como objetivo tornar as cidades e comunidades mais sustentáveis e reduzir os impactos ambientais negativos causados pelas cidades. O ODS 12 visa promover a produção e o consumo sustentáveis, bem como reduzir a exploração de recursos naturais não renováveis (onde se enquadra o cimento, a areia e minerais presentes em argamassa tradicional). A Tabela 1 descreve o que a construção civil pode promover para contribuir com a construção de cidades mais sustentáveis.

Tabela 1.  
Contribuições da construção Civil para os ODS.

<b>ODS versus Construção Civil</b>		
<b>Objetivo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Contribuições da Construção Civil</b>
1	Erradicação da pobreza	Fomentar os negócios sociais, negócios verdes, solidários e a economia inclusiva.
2	Fome Zero e Agricultura Sustentável	Implantar restaurantes populares (de baixo preço)
3	Saúde e Bem-Estar	Criar espaços para as mulheres amamentarem seus filhos/Realizar programas de acesso a água potável para populações carentes.
4	Educação de Qualidade	Construir e manter bibliotecas, videotecas ou brinquedotecas na comunidade, escolas ou organizações sociais.
5	Igualdade de Gênero	Criar oportunidades de inserção da mão-de-obra feminina em atividades alternativas consideradas masculinas.
6	Água Potável e Saneamento	Calcular a Pegada Hídrica de produtos e serviços para uma escolha consciente, principalmente pensando na ideia de rejeitar/ Preservar ou revitalizar todo o sistema hídrico (rios e nascentes) / Recuperar as matas ciliares de rios e nascentes, ampliando áreas de Preservação Permanente (APPs).
7	Energia Acessível e Limpa	Melhorar a eficiência energética/ Sensibilização sobre meio ambiente e a importância do papel de cada um/ Dimensionar corretamente os cabos e fios para os equipamentos/Analisar o contrato de fornecimento com a concessionária de distribuição.
8	Trabalho Decente e Crescimento Econômico	Implantar distritos industriais nos municípios/ Colaborar políticas públicas que promovam o emprego/ Criar condições e locais de trabalho para os imigrantes africanos, bolivianos, libaneses, haitianos e outros povos.
9	Indústria, Inovação e Infraestrutura	Reduzir os desperdícios no processo produtivo/ Construir com materiais que tem tempo de vida elevado/ Investir na infraestrutura do município/ Recuperar as estradas dos municípios.
10	Redução da Desigualdades	Desenvolver pesquisas e estudos sobre a realidade social./Investir na infraestrutura das periferias /Recuperar as estradas do seu município.
11	Cidades e Comunidades Sustentáveis	Disseminar o Estatuto das Cidades e o Plano Diretor do município/ Colaborar com a construção de novas unidades da empresa em municípios de baixo IDH/ Implantar a melhoria da infraestrutura das regiões metropolitanas.
12	Consumo e Produção Responsáveis	Reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização/Implantar a logística reversa nas cidades.
13	Ação Contra a Mudança Global do Clima	Reduzir o consumo de produtos poluentes/ Cumprir com as leis ambientais (Código Florestal, PNRS, PNRH) em todas as obras/ Realizar o controle da emissão de gás carbônico, metano e óxido nítrico, e outros gases poluentes.
14	Vida na Água	Corroborar para instalação de residências na rede de saneamento pública/ Implantar melhorias no saneamento das cidades.

15	Vida Terrestre	Plantar árvores nas beiras dos rios/ Fomentar a compra de matérias primas certificadas nas obras/construções/ Implantar projetos para a redução da desertificação e a degradação dos solos/ Reduzir a geração de resíduos.
16	Paz, Justiça e Instituições Eficazes	Apoiar o funcionamento, construção ou instalação de um Centro de Ação Voluntária nas cidades.
17	Parcerias e Meios de Implementação	Elaborar projetos sociais e ir atrás de fontes de financiamento coletivo/ Buscar recursos para capacitação, tecnologia e outros investimentos para o desenvolvimento local sustentável.

Fonte: Adaptado de <https://institutonacaodevalor.org.br/sugestoes-de-acao-para-cada-um-dos-objetivos/>.

Para que qualquer ação ou iniciativa seja realmente considerada como sustentável, esta deverá estar apoiada no conceito denominado “Triple Botton Line”, proposta por Elkington (1997), o qual é demonstrado na Figura 2 a seguir:



Figura 2. Dimensões da Sustentabilidade

Fonte: Barbieri et al. (2010)

A dimensão econômica está ligada a obtenção de lucro para as empresas, gerando vantagem competitiva; a dimensão ambiental se preocupa com os impactos ambientais devido ao uso dos recursos naturais e emissão de poluentes pelas empresas, e a dimensão social se preocupa com os impactos na população como a geração de empregos, inclusão social, erradicação da pobreza, entre outras (Barbieri et al., 2010).

A ecoeficiência é um termo utilizado para representar a intersecção entre a dimensão econômica e a dimensão ambiental, ou seja, são inovações que diminuem a quantidade de materiais e energia aumentando a vida útil dos produtos, assim, mitigando a quantidade de substâncias tóxicas. Todavia, para que a inovação ecoeficiente seja considerada sustentável deve-se levar em consideração a dimensão social (Barbieri *et al.*, 2010; Elkington, 1998).

## 2.2 Utilização de materiais alternativos na construção civil

Atualmente, a preocupação com o meio ambiente vem aumentando à medida que a população sofre com as consequências geradas pelo mal-uso dos recursos naturais.

Os recursos naturais não são perenes, por isso o meio técnico deve se concentrar em encontrar alternativas para substituí-los (ou mitigar o uso destes), sem comprometer a qualidade, a segurança e a economia das obras civis.

Neste contexto, o desenvolvimento de materiais alternativos vem ganhando destaque nos últimos vinte anos. Mota (2011) relata que a sociedade tem procurado alternativas alinhadas aos conceitos de crescimento sustentável, uma vez que a busca pela sustentabilidade das atividades econômicas tem se demonstrado um desafio.

Mansur (2005) e Barros *et al.* (2016) destacaram que o interesse pela análise dos materiais alternativos se propaga cada vez mais, pois existe uma preocupação em conhecer as características destes materiais, tais como: composição química, tamanho, forma e distribuição, fases e estruturas, superfícies e interfaces. Nesse contexto, o desenvolvimento de técnicas de reuso/reciclagem acontece a partir do conhecimento adequado das características físico/químicas dos resíduos, permitindo caracterizá-los de forma a se determinar suas propriedades, e posteriormente, incorporá-los aos mais diversos materiais alternativos.

Fernández *et al.* (2021), apresentaram uma mistura de areia e resíduos de mineração que foi usada na produção de um concreto alternativo para impressão 3D. Os autores concluíram que, com o uso de 20% de materiais reciclados na dosagem, a mistura atingiu as propriedades necessárias para seu uso como material de impressão 3D de construções residenciais.

Martínez *et al.* (2021), destacam a influência de frações de concreto fino de diferentes naturezas obtidas através de resíduos de construção e demolição. Através desses resíduos, são produzidas pastas de cimento nas quais atenderam aos requisitos físicos e mecânicos dos regulamentos existentes para cimentos comuns.

Superti *et al.* (2021) examinaram os fatores que impulsionam a adoção de produtos reciclados para uma Economia Circular (EC) no setor de resíduos de construção e demolição, focando no concreto reciclado para aplicações estruturais. O resultado obtido demonstra que os RCDs podem ser aplicados com as mesmas funcionalidades que os materiais convencionais.

Treviño *et al.* (2021), buscaram estimular a EC e unir as indústrias de manufatura e construção civil através da análise do efeito nas propriedades físicas, térmicas e mecânicas de argamassas reforçadas com fibras de latão.

Enquanto, Valdés *et al.* (2021), tiveram como objetivo tratar de duplo reaproveitamento da fração cerâmica de resíduos de construção e demolição (RCD), e verificaram que os concretos reciclados incorporando cerâmica como materiais secundários apresentaram desempenho comparável ao do concreto convencional aos 28 dias.

Loginova *et al.* (2021), por sua vez, também buscaram tratamento de resíduos de construção incinerados finos para transformá-los em um potencial material de enchimento, com o fim de alcançar uma economia circular e encontrar um constituinte adicional menor em cimento Portland.

Quando o assunto é comportamento térmico, Ramos *et al.* (2021), avaliaram dois painéis de partículas de espiga de milho diferentes, e ambos os painéis aglomerados de sabugo de milho têm potencial para serem utilizados como material de construção sustentável para o isolamento térmico de paredes.

Erbs *et al.* (2021), demonstraram o processo de reciclagem de resíduos de gesso acartonado em escala de bancada, produzindo novas placas apenas com este resíduo.

Compreende-se que a maneira como os novos métodos e materiais relacionam-se com a natureza é assunto de grande importância, não devendo ser discutido apenas entre profissionais da área da engenharia civil, mas entre todos os integrantes da sociedade que se beneficiam dos produtos da indústria da construção civil.

Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável são termos que, com impacto positivo, se tornam, paulatinamente, mais comuns na avaliação de processos e novos métodos (Oliveira & Souza, 2021).

### **2.3 Argamassas**

A argamassa é um material de construção constituído por uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes (cimento ou cal), agregado miúdo (areia) e água. Podem ainda ser adicionados alguns produtos especiais (aditivos ou adições) com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto. As principais dosagens para argamassas utilizadas para revestimento são à base de cal e cimento. Dependendo das proporções entre os constituintes da mistura e sua aplicação no revestimento, elas recebem diferentes nomes em seu emprego (conforme ABNT NBR 13.529: 2013), os quais são apresentados na sequência:

- **Chapisco:** camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção de água e para melhorar a aderência do revestimento.
- **Emboço:** camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber o acabamento, seja ele reboco, de revestimento decorativo, pintura etc.
- **Reboco:** camada do revestimento utilizada para o cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento.

Os revestimentos em argamassa são definidos pela ABNT NBR 13.529: 2013, como: “...o cobrimento de uma superfície, composto por uma ou mais camadas de argamassa, que se torna apto para receber o acabamento decorativo, ou se constitui no próprio acabamento, decorativo ou não”. Esta norma ainda ressalta que o sistema de revestimento deve estar de acordo com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto (Figura 3).

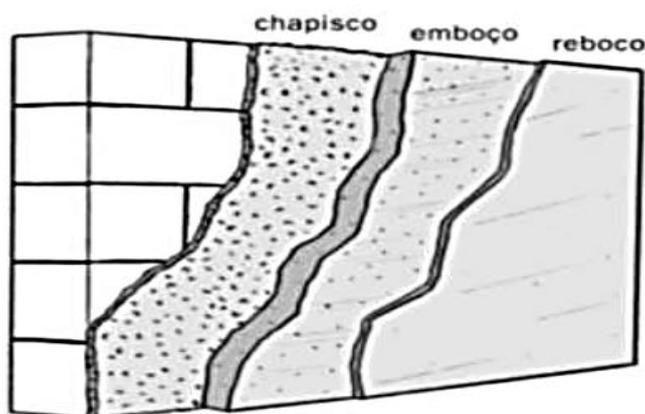


Figura 3. Camadas do revestimento em argamassa.  
Fonte: (ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland).

A norma ABNT NBR 13.749: 2013 define as espessuras máximas e mínimas dos revestimentos de argamassa conforme seu local de aplicação, como exposto na Tabela 2. A mesma norma indica a necessidade de se tomar cuidados especiais, especificados na ABNT NBR 7200, para garantir a aderência da argamassa caso a espessura escolhida seja maior que as indicadas na Tabela 2.

Tabela 2.  
Espessuras indicadas para revestimentos internos e externos

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e externo $e \leq 20$	$e \leq 20$

Fonte: ABNT NBR 13.749:2013.

### 2.3.1 Propriedades das Argamassas

O desempenho de uma argamassa depende de suas características no estado plástico e endurecido. No estado plástico, a argamassa deve apresentar boa trabalhabilidade para facilitar o assentamento dos blocos e capacidade de retenção de água adequada para garantir a hidratação do cimento. As características para o estado endurecido são: resistência à compressão adequada, boa resistência de aderência ou ao cisalhamento.

A Associação Brasileira das Normas Técnicas (ABNT), por meio de um conjunto de ensaios normatizados estabelece os requisitos necessários para cada característica que deve ser controlada por procedimentos normativos. A Tabela 3, apresenta um resumo destes requisitos.

Tabela 3.  
Resumo de requisitos para produção de argamassas

Características	Requisito	Norma
Trabalhabilidade	Uma consistência padrão de $255 \pm 10$ mm	ABNT NBR 13276
Resistência à compressão	Deve ser especificada no projeto.	ABNT NBR 13279
Resistência de aderência	Deve ser especificada no projeto.	ASTM E518
Retenção de água	80% < normal < 90% 90% < alta	ABNT NBR 13277
Teor de ar incorporado	Grupo a < 8% 8% < Grupo b < 18% 18% < Grupo c	ABNT NBR 13278

Fonte: Adaptado de UFRGS [https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/propriedades\\_de\\_argamassa.php](https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/propriedades_de_argamassa.php)

A argamassa deve reter a água de amassamento, que serve tanto para lubrificar os materiais secos quanto para garantir a hidratação do cimento. As propriedades do estado plástico estão muito ligadas às propriedades do estado endurecido. Uma boa resistência depende da resistência dos blocos e da quantidade de cimento da argamassa. A aderência argamassa-bloco é melhorada quando a argamassa tem boa trabalhabilidade e boa retenção de água (NAPEAD – UFRGS, 2020).

A aderência da argamassa é uma propriedade importante em relação ao comportamento da alvenaria. Esta depende da rugosidade e aspereza da unidade de alvenaria e de sua absorção

inicial e contribui para combater os esforços de tração e os esforços tangenciais (NAPEAD – UFRGS, 2020). A resistência à compressão da argamassa afeta diretamente a resistência das componentes de alvenaria (ASTM C270-03b, 2004, p. 157). Uma argamassa deve ter no mínimo uma resistência de 1,5 MPa e desempenha um papel fundamental de ligação entre os blocos, sendo indispensável o controle da execução, garantindo-se a espessura estabelecida em projeto e as características do produto (Santos, 2014).

### 2.3.2 Argamassa obtida por meio da dosagem com pó de brita

O pó de brita (o qual é um tipo de pó de pedra) é proveniente da britagem da rocha basáltica, onde alguns pedaços se desprendem de maneira desuniforme e adquirem uma granulometria inferior a usual. Atualmente a rocha mais utilizada no país, é o basalto, uma rocha ígnea eruptiva, de granulação fina (Goulart, 2018).

A utilização do pó de brita como agregado miúdo na argamassa, seja por motivos econômicos ou por aspectos relacionados à durabilidade, têm ganhado visibilidade nos últimos anos, não só pelas características que presumem o aspeto ambiental, como também os aspectos econômicos, uma vez que as pedreiras começaram a comercializar um produto oriundo de rejeito que não tinha valor algum, que causava transtornos no que diz respeito à estocagem e ao meio ambiente, e que passou a ser um produto com um valor final mais acessível do que os agregados convencionais (Menossi, 2004).

A Figura 4, apresenta o resíduo estocado no pátio da pedreira, e a Figura 5, apresenta o resíduo mais de perto, onde pode-se observar sua granulometria.



Figura 4. Pó de brita na pedreira Santa Isabel, localizada no bairro Morro Grande, município de Santa Isabel, Estado de São Paulo.



Figura 5. Pó de brita - características físicas (Grãos miúdos semelhante a areia).

Devido à sua textura bastante fina, o pó de brita é fácil de ser utilizado e pode ser empregado em calçadas e asfaltos, na fabricação de pré-moldados e na confecção de argamassa para assentamento e revestimento, servindo também como estabilizador de solo na construção de contrapisos. Desde que bem controlado, pode ser utilizado na dosagem de concreto para aumentar sua resistência. Sua granulometria é formada por partículas com diâmetro variando entre 0 mm e 5 mm.

#### **2.4 Pesquisas conduzidas com argamassas alternativas**

A utilização de agregados alternativos na construção civil, vem aumentando com o objetivo reduzir os gastos com o material na construção e mitigar os impactos ambientais decorrentes do uso dos materiais naturais (Farias, Santos & Iulianello, 2020).

Santos *et al.* (2019) dissertam acerca da utilização de argamassas de revestimento e assentamento dosada com areia artificial de britagem ao invés de material extraído de areais. Segundo os autores, esta prática tem se tornado uma alternativa viável. Ao fim do estudo, os autores concluíram que tipo de agregado influencia significativamente nas propriedades das argamassas analisadas e que é necessária uma metodologia de dosagem que considere esses preceitos/condições para obtenção de argamassas mistas de boa qualidade e com características técnicas concordantes com as recomendações das normas técnicas pertinentes (Santos et al, 2019).

Antunes (2020), realizou análise da utilização de areia de britagem de origem granítica em substituição parcial (50%) e total (100%) da areia natural na dosagem de uma argamassa de revestimento, produzida com o traço 1:1:6 (cimento, cal e areia, respectivamente). Na análise, a autora buscou verificar a influência das características dos grãos de areia granítica nas propriedades de argamassas de revestimentos. Os resultados mostraram que as argamassas com areia granítica apresentaram maior absorção por capilaridade e, também, maiores valores de

resistência mecânica quando comparadas com a argamassa de areia natural, indicando que a forma angulosa do grão granítico interferiu nas propriedades analisadas.

Tokarski (2020) estudou o comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento. Foram ensaiadas cinco composições de traço, a primeira com 100% areia natural (traço de referência), a segunda composição com 80% areia natural, e 20% areia de britagem de rocha calcária, o terceiro com 60% areia natural e 40% areia de britagem de rocha calcária, o quarto com 40% areia natural e 60% areia de britagem de rocha calcária, e o quinto com 20% areia natural e 80% areia de britagem de rocha calcária. Os traços das argamassas utilizados, foram compostos com cimento, areia, água e aditivo, sem a presença da cal, e foram ensaiados no estado fresco e endurecido. A pesquisa obteve os seguintes resultados:

- Os traços compostos com a areia de britagem de rocha calcária apresentaram melhor desempenho que o traço de referência, composto apenas com areia natural.

- O traço com 60% de areia natural e 40% de areia de britagem de rocha calcária apresentou melhor desempenho em 70% dos ensaios realizados, tendo apresentado uma curva granulométrica dentro da zona ótima superior e inferior exigido pela norma.

Diogenes (2016), avaliou a viabilidade técnica da substituição de areia de leito de rio por areia de britagem na confecção de argamassas de revestimento, bem como avaliou a influência do teor de material pulverulento e de água nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. O autor utilizou de metodologia que consistiu na confecção de argamassas mistas com 3 tipos de areias de britagem provenientes de pedreiras da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Para análise dos resultados, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) e verificou-se a viabilidade da utilização de areia de britagem em substituição à areia natural no teor de 25% para confecção de argamassas de revestimento, que de um modo geral, apresentou uma melhor trabalhabilidade com o menor consumo de água e um aumento nos valores de resistências mecânicas.

Caldas *et al.*, (2020) realizaram estudo com intuito em utilizar a avaliação do ciclo de vida (ACV) para a comparação dos impactos ambientais de três alternativas de argamassa, com utilização de resíduos de cerâmica vermelha (RCV) com tamanhos médios de partículas de 30  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ , como substitutos do cimento Portland, em dois teores de substituição (10% e 20%). Como base de comparação, foi utilizada uma argamassa convencional contendo apenas cimento Portland e areia. Os impactos evitados relacionados à destinação final dos RCV em aterros também foram avaliados. Os resultados mostraram que a mistura com 20% de substituição de cimento por RCV com tamanho médio de 10  $\mu\text{m}$  apresentou o melhor

desempenho ambiental quando a resistência à compressão e durabilidade. Os autores concluíram que é possível produzir uma argamassa com melhor desempenho mecânico, ambiental e mais durável com resíduos da indústria de cerâmica vermelha.

## 2.5 A construção civil em uma cidade inteligente

Existe um conjunto de fatores que são capazes de serem utilizados para retratar cidades inteligentes: gestão e organização, tecnologia, governança, política, pessoas, economia, infraestrutura e meio ambiente.

De acordo com a EPE (2020) “uma das formas de tornar o conceito de cidades inteligentes menos abstrato é desenvolver um modelo conceitual que permita uma avaliação considerando as diferentes características destas cidades”.

Ressalta-se que devido ao alto índice do crescimento urbano, é necessário pensar em estruturação das cidades para que estas, ofereçam qualidade de vida e evitem problemas sociais e econômicos. Logo, é necessário que aconteça mudanças no cenário atual para que haja progresso na qualidade de vida urbana. Para tanto, além de realizar um planejamento urbano, é também necessário investir em soluções sustentáveis que sejam aceitas e empregues pelos moradores.

Tem-se, portanto, que aliar os métodos sustentáveis existentes na construção civil é de grande valia quando se trata de reestruturação de cidades. Vale lembrar que, a inteligência para produzir uma cidade sustentável é primeiro humana, e só depois tecnológica.

Sendo assim, transmutar uma cidade já moldada em cidade inteligente não se trata de uma revolução, mas sim de uma evolução indispensável para que haja desenvolvimento urbano, de modo que haja harmonização entre os meios disponíveis.

Deve-se discernir que nenhum modelo será qualificado de amparar todos os temas relevantes, devido à “complexidade e a amplitude dos aspectos relevantes no contexto das cidades, mas as estruturas desenvolvidas nestes estudos constituem um conjunto de ferramentas úteis e passíveis de adaptação para discussões mais específicas” (EPE, 2020).

Uma cidade com edificações que possuem recursos sustentáveis também faz parte das características das cidades inteligentes. Ressalta-se que é relevante ter a preocupação com a integração de edifícios *versus* meio urbano.

Depreende-se que os desafios que são estabelecidos pelo atual nível de urbanização demandam soluções transformadoras e inovadoras. Neste seguimento, é possível perceber que

para uma construção sustentável é preciso que acatem os conceitos básicos sobre cidades inteligentes e sustentáveis.

A construção civil de forma sustentável é um sistema construtivo que intercede ao meio ambiente, adequando-o para suas necessidades de uso, produção e consumo humano, sem esgotar os recursos naturais, conservando-os para as gerações futuras.

Para Gandini (2016) a sustentabilidade de um empreendimento pode ser compreendida como a implementação de estratégias desde sua concepção:

[...] depois passando pela fase de construção e utilização, até sua desmontagem. Deste modo, deve-se levar em consideração a extração da matéria-prima necessária à produção dos materiais a serem utilizados, suas aplicações e posterior reutilização, ou seja, os edifícios devem ser pensados numa lógica que contemple todas as fases do seu ciclo de vida (Gandini, 2016).

Nos últimos anos, edificações inteligentes e sustentáveis estão se tornando mais comuns, de acordo com Casagrande (2019), as cidades inteligentes passaram por uma integração dos conceitos de técnica e tecnologia, conexão, comunicação e automação.

As edificações são um dos elementos preponderantes, vistos que, são estas que desenham a silhueta da cidade. O fato é que para produzir uma cidade inteligente e sustentável, é necessário um esforço conjunto entre população e poder público, de maneira a conseguir adequar os edifícios que compõem sua silhueta, bem como, a infraestrutura e os serviços básicos, para que a população tenha assim, uma melhor qualidade de vida, que é o alvo principal a ser alcançado para as cidades inteligentes e sustentáveis (Gomes et al., 2020).

O uso de materiais não sustentáveis pode, inicialmente, representar menos custos, aparentando-se mais acessível. Contudo, essa prática apresenta-se como inviável a longo prazo. As empresas, no entanto, ainda encontram desafios para disseminar as ações e práticas sustentáveis, desde o tomador de decisão até o colaborador (Mendes, 2018).

Os principais obstáculos para as construções sustentáveis no Brasil e em outros países são os altos custos iniciais para a construção, falta de incentivos públicos, falta de apoio, a falta de interesse e a falta de consciência do público sobre esta questão (Dodge Data & Analytics, 2016).

Diante desses desafios, ainda há iniciativas crescentes por um mundo mais sustentável. Segundo a Organização das Nações Unidas em 2018, 93% das 250 maiores empresas do mundo fizeram/fazem acompanhamentos sobre suas atividades produtivas e questões de sustentabilidade (ONU, 2018).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da pesquisa**

Para a determinação dos procedimentos metodológicos desta pesquisa foram consultadas referências técnicas e científicas que forneceram alicerce para o tema abordado. Foram consultadas publicações relevantes com destaque de autores que contribuem com uma compreensão integrada acerca da sustentabilidade na construção civil.

Esta pesquisa pode ser caracterizada como quantitativa em relação à sua forma de análise. Queirós, Faria, & Almeida (2017) caracterizam como pesquisa quantitativa aquela que busca por obter dados precisos e confiáveis por meio de medições que permitem uma análise estatística. Esta também pode ser classificada como exploratória, pois almeja-se desenvolver análise detalhada da utilização do pó de brita na dosagem de argamassas de assentamento e revestimento. Para Boni e Quaresma (2005), a pesquisa exploratória consiste em uma investigação de um problema ou de situações que promovam critérios para uma compreensão aprofundada do assunto.

Para a obtenção dos dados a serem analisados foi utilizada a metodologia da Pesquisa-Ação que, para Thiollent (2005), pode ser considerada como um “instrumento de pesquisa científica; baseada empiricamente, concebida e realizada em associação com ação ou resolução de um problema coletivo, em que os pesquisadores e membros da situação estão envolvidos e interagem, de maneira cooperativa e participante”.

Yin (2015) destaca que a Pesquisa-Ação difere do estudo de caso, justamente pela participação ativa do pesquisador, que pode interferir (intervir), e não apenas tratar uma realidade. Na Tabela 4, são apresentadas as fases que compõem esta pesquisa. A Figura 6, expõe o fluxograma dos processos metodológicos utilizados nesta dissertação.

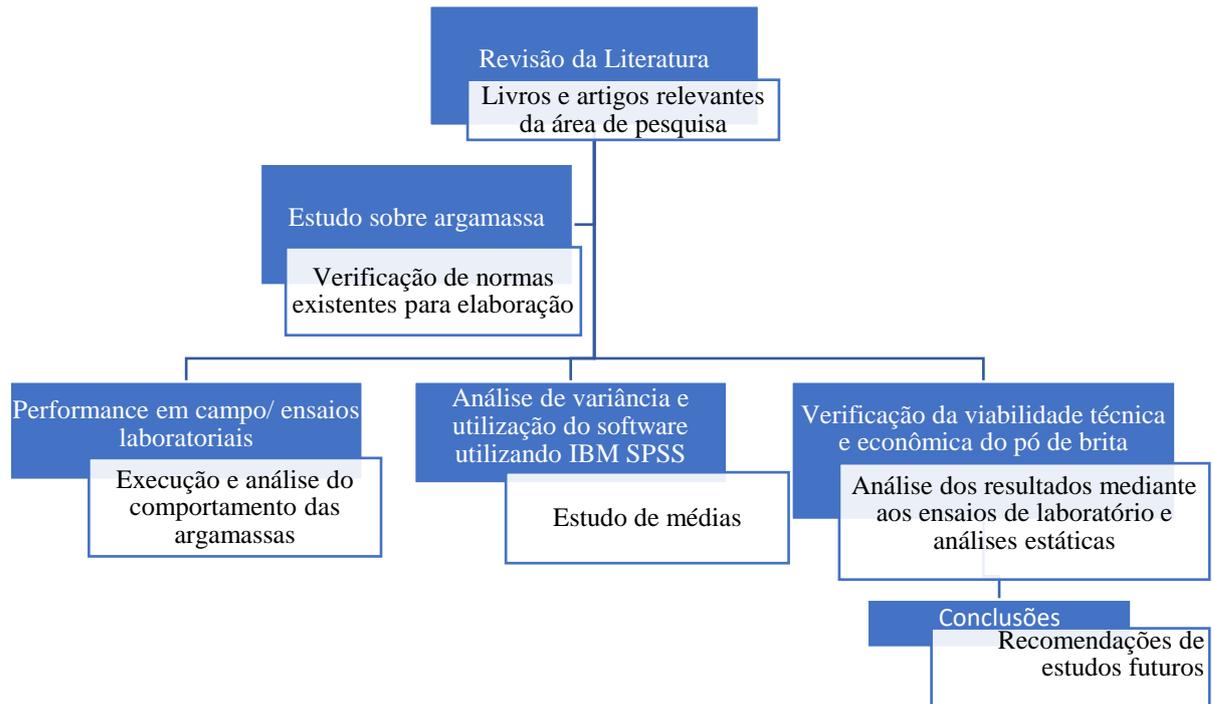


Figura 6. Fluxograma geral da dissertação.

Tabela 4.

Fases desenvolvidas da pesquisa.

<b>Fase 1 - Exploratória</b>	<b>Fase 2 - Aprofundamento da pesquisa</b>	<b>Fase 3 - Ação</b>	<b>Fase 4 - Análise dos Resultados</b>
Conhecimento dos agregados mais utilizados em obras;	Estudos acerca dos Resíduos de Construção Civil	Execução de painéis com argamassa de assentamento feita com pó de brita e areia natural	Realização de testes de arrancamento, permeabilidade e infiltração
Verificação do potencial do pó de brita (ao ser inserido usualmente nas obras)	Elaboração de Projeto para execução de painéis com argamassa produzida com pó de brita	Realização de revestimento do substrato com argamassa feito com o material alternativo (pó de brita) e areia natural.	Comparativo entre a areia natural e pó de brita, explanando todos os resultados da pesquisa obtido através dos ensaios e Realização dos Resultados e Discussões

### 3.2 Amostras utilizadas na pesquisa

A coleta de amostras, bem como a execução dos ensaios laboratoriais procederam de acordo com as recomendações das normas técnicas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), tais como:

- ABNT NBR 13.276: 2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência;
- ABNT NBR 7200: 1998 – Execução de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento;

- ABNT NBR 13.281: 2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos;
- ABNT NBR 13.749: 1996 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.

Para a condução dos ensaios foram utilizados 20 kg de areia natural, 20 kg de pó de brita e 50 kg de Cimento Portland CII F-32. As amostras foram secas ao ar livre (à sombra) e posteriormente quarteadas e homogeneizadas. Os ensaios de caracterização das amostras foram conduzidos no Laboratório de Construção Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), seguindo os procedimentos específicos estabelecidos para cada material, de acordo com as normatizações da ABNT. A seguir são apresentados os detalhes dos ensaios conduzido e os materiais utilizados:

### 3.2.1 Pó de Brita

A ABNT NBR 7211 define agregado miúdo como sendo aquele de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, podendo também ser uma mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira de abertura de 4,8 mm e ficam retidos na peneira de 0,075 mm. No entanto, o pó de brita possui material pulverulento passante na peneira #200. Neste trabalho, foi utilizado o pó de brita sem o descarte da sua fração inferior correspondente a 0,075 mm.

O pó de brita utilizado foi proveniente da pedreira Santa Isabel, localizada no bairro Morro Grande, município de Santa Isabel, estado de São Paulo. Por se tratar de um agregado candidato à substituição da areia natural, foram adotados, para o pó de brita, os mesmos procedimentos de preparo das amostras e de caracterização realizados para a areia natural.

### 3.2.2 Cimento

Para a dosagem das argamassas ensaiadas neste estudo foi utilizado Cimento Portland com inclusão de Filer do tipo CP II F – 32. O CP II F-32 tem adição de filer calcário, em teor entre 6 e 10% e não é o mais indicado para aplicação em meios agressivos. Sua escolha foi baseada no fato deste ser o cimento mais encontrado nas obras da região, devido a sua ampla disponibilidade no mercado.

### 3.2.3 Areia

A areia média foi previamente seca em estufa para que não houvesse interferência na relação água/cimento das argamassas. A massa específica do agregado miúdo foi definida seguindo os procedimentos especificados na ABNT NBR NM 52: 2009, enquanto sua granulometria, o módulo de finura e a dimensão máxima característica foram definidos seguindo a padronização da ABNT NBR NM 248: 2003 e sua massa unitária obtida de acordo com a ABNT NBR NM 45:200.

### 3.3 Avaliação das características físicas das argamassas

Para a avaliação das características físicas das amostras e das propriedades de engenharia das argamassas foram conduzidos os seguintes ensaios:

#### Ensaio de granulometria

Utilizou-se a ABNT NBR NM 248: 2003 – que apresenta as recomendações para a condução do ensaio de determinação da composição granulométrica das amostras. Por meio deste foi possível obter a porcentagem média retida em cada peneira, a porcentagem média retida acumulada, a dimensão característica e o módulo de finura. As peneiras utilizadas tinham aberturas (malhas) conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5.  
Dimensões das peneiras.

Malha ABNT	abertura (mm/microns)
5	4
6	3,36
12	1,68
20	0,84
30	0,59
50	0,297
100	0,149
200	0,074
270	0,053
fundo	

#### Ensaio para determinação da massa específica das amostras

A determinação da massa específica dos agregados miúdos ocorreu por meio do uso do frasco Chapman, conforma as recomendações da ABNT NBR 9776:2003 - Agregados – Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por meio do frasco Chapman. A massa específica do agregado miúdo foi calculada mediante a expressão:

$$Y = \frac{500}{L-200}$$

Onde:

Y – massa específica do agregado miúdo deve ser expressa;

L – Leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

Também, foi determinada a massa específica aparente natural dos agregados miúdos, conforme ABNT NBR NM 52: 2009 – “Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente”. Sabe-se que a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. A massa específica do cimento foi determinada por meio do método do frasco de *Le Chatelier*. A massa específica do cimento foi calculada utilizando-se a equação a seguir:

$$Y = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

Onde:

Y – massa específica do cimento;

V<sub>2</sub> – leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto álcool-cimento);

V<sub>1</sub> – leitura inicial do frasco.

### 3.4 Dosagem da argamassa experimental

A preparação da argamassa foi realizada conforme a ABNT NBR 13276: 2016, sendo utilizado traço de 1:8 (assentamento). Sendo, 200 gramas de cimento, 200 ml de água e 1600 g de areia. Fez-se o mesmo processo para o pó de brita. A Figura 7 apresenta o processo de mistura das argamassas:



Figura 7. Preparo da argamassa.

### 3.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Ao todo, foram moldados 48 corpos de prova cilíndricos com altura de 10cm e diâmetro de 5cm ( $L=2D$ ) utilizando a argamassa convencional (com areia) e a dosada com pó de pedra. A preparação destes seguiu as recomendações da ABNT NBR 7215. Todos os corpos-de-prova seguiram para câmara com umidade relativa mínima do ar de 95% para cura inicial. Em seguida, foram desmoldados e imersos em água até a idade de ensaio. A Tabela 6, demonstra as quantidades de corpos de prova e as suas respectivas idades. Todos os corpos de prova foram moldados e pesados, conforme a Figura 8.

Tabela 6.  
Quantidade de CPs x idade de rompimento.

Material	7 dias	14 dias	28 dias
Areia	5	5	5 CP
Pó de brita	5	5	5
Areia Saturada	3	3	3
Pó de brita saturado	3	3	3



Figura 8. Pesagem corpo de prova.

Após a moldagem e a pesagem, os corpos de prova foram armazenados em câmara úmida para cura, permanecendo por 7, 14 e 28 dias. A Figura 9 demonstra o armazenamento em câmara úmida e a Figura 10 mostra-os em saturação durante o mesmo período.



Figura 9. Armazenamento corpos de prova em câmara úmida.



Figura 10. Armazenamento corpos de prova em saturação e câmara úmida.

Antes de serem rompidos, foram conduzidos ensaios de ultrassom nos corpos de prova (ABNT NBR 8802: 1994) no intuito de verificar a possibilidade de ocorrência de microfissuras internas ou descontinuidades que poderiam influenciar nos resultados dos ensaios a compressão. As Figuras seguintes apresentam os corpos de prova desmoldados (Figura 11) e o ensaio de ultrassom sendo realizado (Figura 12).



Figura 11. Pesagem e medidas corpos de prova desmoldados.



Figura 12. Ensaio de ultrassom após desmoldagem.

### 3.6 Ensaios de compressão simples

Após a verificação da integridade dos corpos de provas, estes foram submetidos a ensaios de compressão simples não confinada. Para tal foi utilizada uma prensa axial tipo EMIC – GR48, instalada no laboratório de ensaios de materiais de construção da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Os procedimentos utilizados foram de acordo com as recomendações da ABNT NBR 7215:2019. A Figura 13 demonstra o ensaio em execução. Além da resistência a compressão simples, para alguns corpos de prova, foram determinados os seus módulos de elasticidade. Para tal, foram utilizados sensores acoplados nos corpos de prova que forneciam as deformações horizontais e verticais durante o carregamento de cada corpo de prova. A Figura 14 demonstra um dos ensaios conduzidos.



Figura 13. Momento da ruptura do corpo de prova.



Figura 14. Ensaio a compressão com módulo de elasticidade (com extensômetro).

### 3.7 Ensaio para avaliação do comportamento das argamassas de assentamento e revestimento

Os ensaios foram conduzidos em conformidade com as recomendações da ABNT NBR 13528: 2010 – “*Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Método de ensaio*”. A avaliação da aderência foi feita seguindo as especificações da ABNT NBR 13749: 1996 – “*Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação*”. A seguir são apresentados os procedimentos utilizados nos ensaios.

**Perfuração** - com uma furadeira acoplada a uma broca tipo serra-copo de 50 mm de diâmetro, foram feitos os furos para retirada do corpo de prova. Ao todo foram executados furos para a retirada de 18 corpos de prova distribuídos de forma aleatória, contemplando juntas e blocos;

**Instalação das pastilhas** - após limpeza da superfície, sobre cada furo foi colada uma pastilha circular com resina epóxi.

**Realização do arrancamento** - o passo seguinte consistiu na introdução do aparelho de arrancamento (dinamômetro de tração) dotado de dispositivo para leitura de carga. As pastilhas foram, então, arrancadas;

**Coleta das amostras** - por fim, as amostras foram analisadas. Foi calculada a resistência de aderência à tração de cada corpo de prova (Ra) em MPa (Nakamura, 2013).

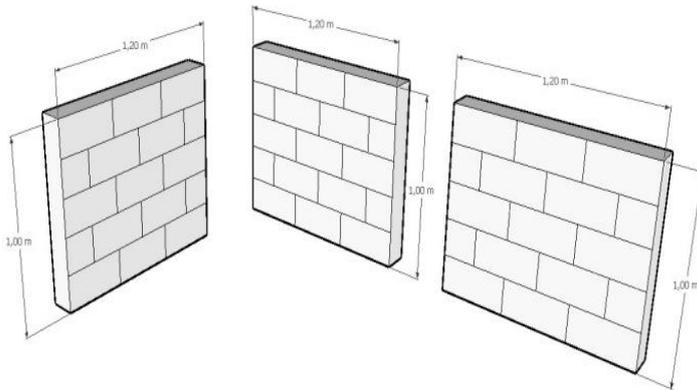
Ao final do processo a carga máxima foi dividida pela área de atuação do esforço para a determinação da tensão da ruptura do revestimento, que deve ser superior aos previstos na norma ABNT NBR 13749 (1996), que estabelece os limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única, conforme exposto na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7.  
Critérios de resistência de aderência a tração (Ra)

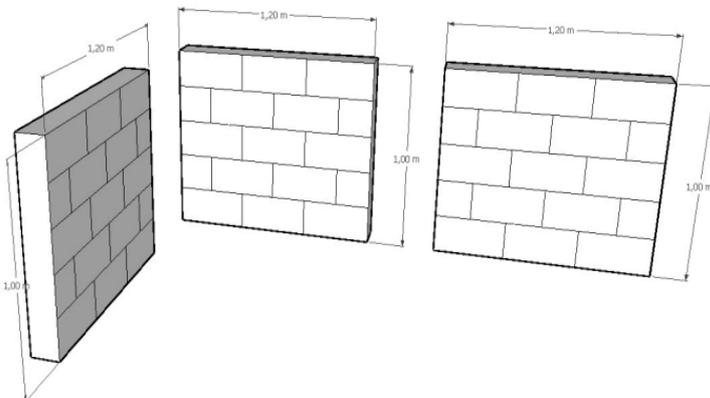
Local	Acabamento	Ra (em MPa)
Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
	Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
	Cerâmica	$\geq 0,30$

Fonte: Adaptado de NBR 13749 (1996).

Para a condução dos ensaios foram executados painéis experimentais com dimensões de 1,00 m de altura por 1,20 m de comprimento, conforme as Figuras 15 e 16.



**Figura 15.** Projeto de Painel vista frontal.



**Figura 16.** Projeto de painel vista lateral.

Para realização dos painéis, utilizou-se argamassa de assentamento produzida com traço de 1:8 especificado na NBR 13529: 2013, onde no painel 1 e 2 foram assentados os blocos com argamassa produzida com areia, e no painel 3 utilizou-se o assentamento dos blocos com pó de brita. Salienta-se que este mesmo traço foi ensaiado em laboratório onde foi feito o ensaio de compressão. Ainda, ressalta-se que o traço utilizado para areia, foi também realizado para o pó de brita. As Figuras 17 e 18 ilustram os blocos assentados com as argamassas produzidas.



**Figura 17.** Execução do painel - vista frontal.

Assim, tem-se que:

- No painel 1, foi aplicado apenas o chapisco, com espessura de 5 mm;
- No painel 2, foi aplicado chapisco (5 mm) e emboço (15 mm); e
- No painel 3, foi aplicado chapisco (5 mm), emboço (15 mm) e reboco (5mm).

Em relação a dosagem de argamassa utilizada, na parte frontal dos painéis foi utilizada argamassa com areia natural, enquanto na parte traseira foi utilizada argamassa com pó de brita. Salienta-se que a relação A/C (água/cimento) utilizada foi de 0,5. Ou seja, a cada 1 kg de cimento, utilizou-se 500 ml de água.



**Figura 18.** Execução do painel - vista lateral.

A Figura 19 apresenta o chapisco realizado nos três painéis (parte frontal) com areia, e a figura 20 apresenta o chapisco feito com pó de brita. Para o chapisco, utilizou-se o traço de 1:3 (cimento: areia/pó de brita).



Figura 19. Painéis chapiscados com areia.



Figura 20. Painéis chapiscados com pó de brita.

Já a Figura 21, apresenta a realização do emboço nos painéis 2 e 3. Ressalta-se que a parte frontal foi feita com areia e a parte posterior foi realizada com pó de brita. O traço utilizado foi 1:8 (cimento: areia/ pó de brita).



Figura 21. Realização do emboço nos painéis 2 e 3.

Por fim, a Figura 22, demonstra o revestimento final, o reboco, aplicado no painel 3, com traço de 1:5 (cimento: areia/ pó de brita), este processo também foi feito na parte posterior do painel, com pó de brita.



Figura 22. Reboco feito no painel três.

Após a finalização dos painéis, estes foram deixados em descanso em ambiente protegido de intempéries, sendo executada cura por tempo equivalente a 28 dias. A Figura 23 demonstra os painéis prontos para a execução dos ensaios.

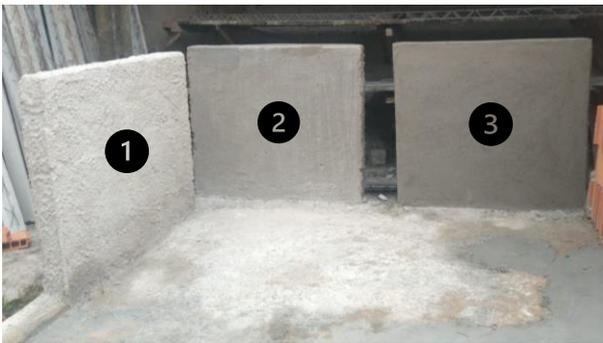


Figura 23. Painéis com revestimentos finalizados, prontos para o teste de aderência a tração.

A seguir, a Figura 24 demonstra o primeiro passo do procedimento, onde é feita a perfuração do substrato com o auxílio de um equipamento serra copo, com diâmetro de 50 mm. Foram feitos 3 furos em cada painel, sendo três furos na frente, e três furos na parte posterior.



Figura 24. Perfuração do substrato com serra copo com diâmetro de 50mm.

Feitas as perfurações, as bases foram limpas, escovadas e as partículas de poeira foram removidas por completo, uma vez que, nestes locais foram aplicadas as pastilhas para posterior extração das amostras. As Figuras 25 e 26 demonstram o aspecto dos painéis após as perfurações. Ao todo foram executadas 9 perfurações para parte frontal dos painéis e 9 na parte posterior.



Figura 25. Painéis com perfurações feitas, nomeadas de 1 a 18.



Figura 26. Perfurações realizadas no painel 3.

Feito isso, realizou-se a colagem das pastilhas. Ao todo, foram 18 pastilhas coladas com adesivo epóxi de média fluidez. Sendo colados três em cada face dos painéis. Conforme demonstrado nas Figuras 27 e 28.



Figura 27. Pastilhas aplicadas nos painéis.



Figura 28. Pastilha aplicada e base limpa.

Após 24 horas foi realizado o ensaio de arrancamento conforme o prescrito por norma. As Figuras 29 e 30 ilustram esse procedimento. Ressalta-se que, antes de aplicar o esforço de tração, zerou-se a célula de carga do equipamento e verificou-se se o conjunto corpo de prova/dinamômetro estava estabilizado e se não havia flutuação do dispositivo de leitura. Aplicou-se o esforço de tração perpendicularmente ao corpo de prova com taxa de carregamento constante, até a ruptura do corpo de prova.



Figura 29. Ensaio de arrancamento (teste de aderência a tração).



Figura 30. Ensaio de arrancamento (teste de aderência a tração).

Para calcular a resistência de aderência à tração, foi utilizada a seguinte equação:

$$Ra = P/A$$

Sendo:

Ra = Resistência de aderência a tração, em MPa

P = Carga de ruptura em N.

A = Área da pastilha, em mm<sup>2</sup>

A resistência de aderência de cada corpo de prova é determinada pela razão entre a força de ruptura (N) e a área da seção do corpo de prova (mm<sup>2</sup>). Quanto à forma de ruptura, a norma preconiza que ela deve ser expressa em porcentagem de ocorrência e apresentada juntamente com o valor da resistência de cada corpo de prova. A Figura 31 mostra as possíveis formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração.

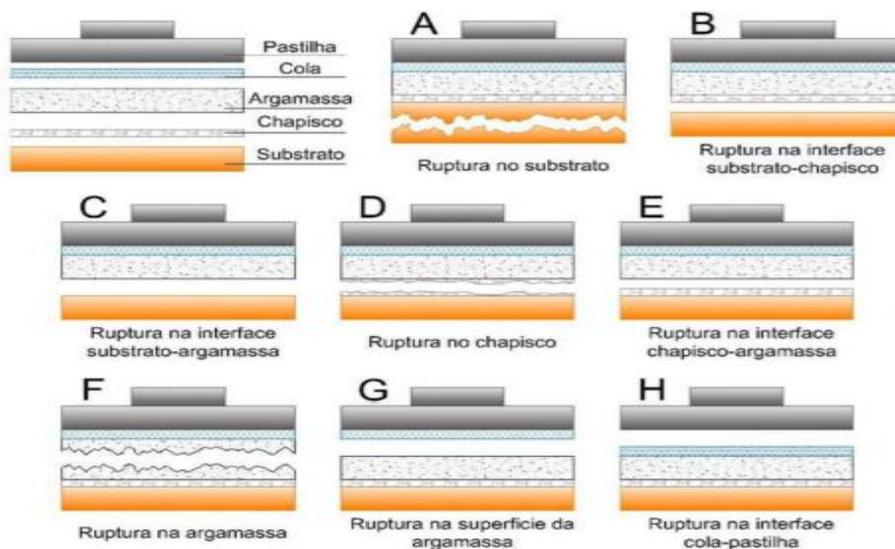


Figura 31. Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento. Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

Os resultados obtidos para cada pastilha nomeada com número e sigla “a” para areia e “p” para pó de brita, estão demonstrados no próximo tópico 4, onde aborda-se os resultados e discussões desta pesquisa.

## 4 RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 Ensaio de caracterização das amostras

Os pesos específicos determinados para as amostras de pó de brita e areia natural estão apresentados a seguir:

$$Y = \frac{500}{L-200} * 10 \left( \frac{kN}{m^3} \right)$$

Onde:

Y – peso específico do agregado miúdo;

L – Leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

Deste modo, para a areia obteve-se:

$$Y = \frac{500}{392-200} = 2,60 \text{ g/cm}^3 = 26 \text{ kN/m}^3$$

Salienta-se que o mesmo procedimento foi realizado para o pó de brita, onde obteve-se:

$$Y = \frac{500}{386-200} = 2,69 \text{ g/cm}^3 = 26,9 \text{ kN/m}^3$$

As Tabelas 8 e 9 a seguir demonstram os pesos aparentes determinados para as amostras ensaiadas: areia e pó de brita.

Tabela 8.

Peso específico aparente para a areia

Amostra	medida frasco cm <sup>3</sup>	massa frasco inicial (g)	massa frasco final (g)	Peso específico aparente (kN/m <sup>3</sup> )
1	188,48	156,8	453,47	1,57
2	188,48	155,93	451	1,57
3	189,23	139,31	404,22	1,40
				média 15,1

Tabela 9.

Peso específico aparente para a pó de brita

Amostra	medida frasco cm <sup>3</sup>	massa frasco inicial (g)	massa frasco final (g)	Peso específico aparente (kN/m <sup>3</sup> )
1	188,48	156,8	481,12	1,72
2	188,48	155,93	467,04	1,65
3	189,23	139,31	470,22	1,75
				média 17,1

O peso específico do cimento, determinado por meio do frasco de Le Chatelier, é apresentado a seguir:

$$Y = \frac{m}{V_2 - V_1}$$

Onde:

Y – massa específica do cimento;

V<sub>2</sub> – leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto álcool-cimento) .

V<sub>1</sub> – leitura inicial do frasco

$$Y = \frac{60}{21 - 0,5}$$

Y = **2,93 g/cm<sup>3</sup> = 29,3 kN/m<sup>3</sup>** → massa específica do cimento.

O peso específico é a relação entre o peso do agregado seco e seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. Já o peso específico aparente é a relação entre o peso do agregado e o seu volume, incluindo os poros permeáveis à água. Dessa forma, tem-se os seguintes resultados (Figura 32):

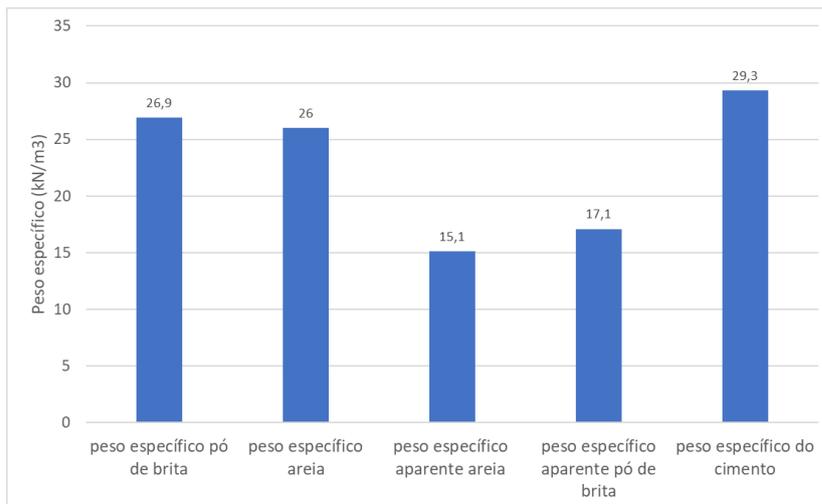


Figura 32. Pesos específicos determinados para as amostras coletadas.

As curvas de distribuição granulométrica das amostras de areia e pó de brita são apresentadas na Tabela 10 e na Figura 33.

Tabela 10.  
 Percentagem passantes nas malhas das peneiras.

Abertura (mm)	Pó de brita	Areia
4	100,00%	100,00%
3,36	81,93%	97,79%
1,68	63,17%	83,69%
0,84	57,65%	72,69%
0,59	43,57%	47,17%
0,297	28,14%	21,02%
0,149	18,82%	9,36%
0,074	10,43%	2,13%
0,053	0,00%	0,00%

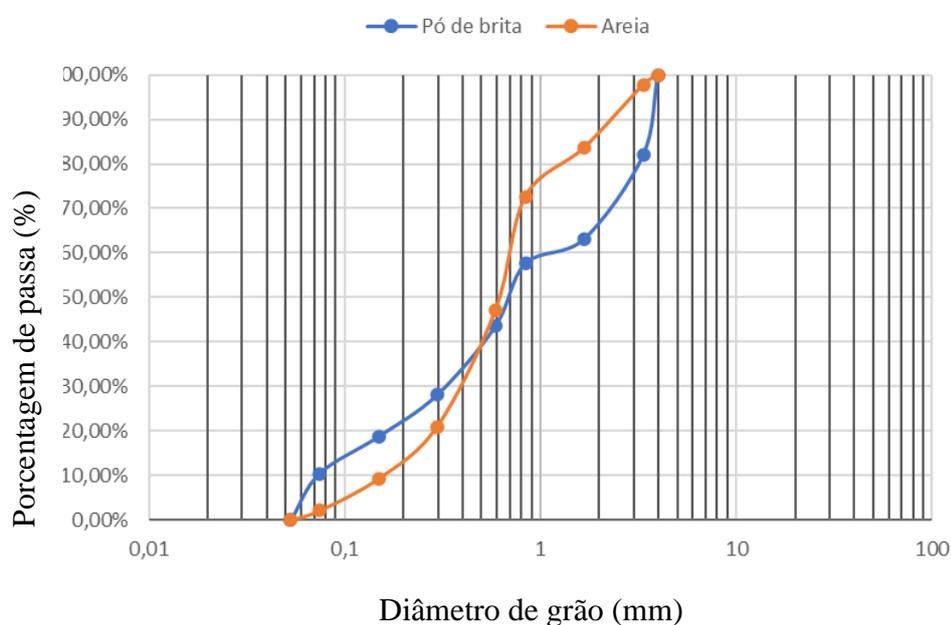


Figura 33. Comparação entre as curvas granulométricas: pó de brita e areia.

Dessa forma, com base nas curvas determinadas, pode-se identificar as seguintes características das amostras ensaiadas (Tabela 11):

Tabela 11.  
 Características granulométricas das amostras ensaiadas

	Areia	Pó de brita
D <sub>10</sub>	0,15 mm	D <sub>10</sub> 0,15 mm
D <sub>30</sub>	0,30 mm	D <sub>30</sub> 0,30 mm
D <sub>60</sub>	0,70 mm	D <sub>60</sub> 1,0 mm
Cc	0,85	Cc 0,60
Graduação	Bem graduada	Classificação Bem graduada
Granulometria	Fina a grossa	Graduação Fina a grossa

Em que:

D<sub>10</sub>: diâmetro o qual 10% da massa de solo é inferior a este (mm);

D<sub>30</sub>: diâmetro o qual 30% da massa de solo é inferior a este (mm);

D<sub>60</sub>: diâmetro o qual 60% da massa de solo é inferior a este (mm);

C<sub>c</sub>=coeficiente de curvatura.

$$C_c = (D_{30}^2) / D_{10} * D_{60}$$

## 4.2 Caracterização dos corpos de prova moldados

A Tabela 12 demonstra as dimensões dos corpos de provas moldados para os ensaios de resistência à compressão não confinada:

Tabela 12.  
Dimensões dos corpos de prova moldados.

Corpos de prova (cp)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa do molde (g)	Molde + argamassa (g)	Massa cp (g)
1p	100	495	139,07	553,20	414,1
2p	100	495	154,89	569,50	414,6
3p	100	490	156,80	566,10	409,3
4p	100	495	159,20	571,80	412,6
5p	104	495	149,47	584,10	434,6
6p	101	500	157,94	558,10	400,2
7p	100	480	162,04	560,00	398,0
8p	100	490	153,99	560,00	406,0
9p	100	490	150,53	553,40	402,9
10p	100	495	156,28	564,20	407,9
11p	100	490	155,33	551,80	396,5
12p	100	500	149,65	559,40	409,8
13p	100	490	154,67	559,50	404,8
14p	100	495	152,01	557,60	405,6
15p	100	495	153,97	560,90	406,9
1a	100	495	143,37	542,60	399,2
2a	100	495	147,95	542,20	394,3
3a	100	495	155,93	554,40	398,5
4a	100	495	148,49	546,10	397,6
5a	104	495	139,31	551,50	412,2
6a	103	495	148,37	567,10	418,7
7a	101	495	154,45	558,50	404,1
8a	100	490	151,96	543,80	391,8
9a	104	495	149,04	562,80	413,8
10a	101	500	145,60	565,90	420,3
11a	101	495	152,86	553,60	400,7
12a	101	490	166,75	552,70	386,0
13a	100	495	158,40	553,50	395,1
14a	101	490	154,10	544,30	390,2
15a	100	495	146,42	544,60	398,2
1as	100	500	160,82	535,40	374,6
2as	100	490	151,56	535,70	384,1
3as	105	500	158,17	576,50	418,3

4as	100	485	162,08	549,60	387,5
5as	100	490	161,03	556,50	395,5
6as	100	490	151,85	538,50	386,7
7as	100	480	151,35	528,60	377,3
8as	100	495	156,66	544,10	387,4
9as	101	500	150,35	556,00	405,7
1ps	100	490	153,96	561,30	407,3
2ps	101	500	147,42	566,10	418,7
3ps	100	500	154,84	565,20	410,4
4ps	100	500	145,36	566,50	421,1
5ps	100	490	153,79	574,90	421,1
6ps	104	490	148,32	560,40	412,1
7ps	100	490	160,19	556,30	396,1
8ps	101	495	150,11	571,60	421,5
9ps	100	495	145,64	555,20	409,6
Média	100,68	493,54	----	----	403,73
Desvio padrão	0,19	0,68	----	----	1,81
Intervalo máximo*	101,07	494,91	----	----	407,40
Intervalo mínimo*	100,29	492,17	----	----	400,08

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

De acordo com a Tabela 12 pode-se verificar que os desvios padrão em relação às dimensões e massa dos corpos de prova foram pequenos, o que indica a homogeneidade destes. No intuito de identificar a qualidade dos corpos de prova, ou seja, se estes não possuíam fissuras internas que poderiam influenciar na resistência à compressão, estes foram submetidos a ensaios de ultrassom. Os resultados são demonstrados nas Tabelas 13 a 24.

Tabela 13.  
Ultrassom – Pó de brita com 7 dias de cura.

Média (m/s)	2992,4
Desvio Padrão (m/s)	110,6
Intervalo máximo* (m/s)	3089,7
Intervalo mínimo* (m/s)	2815,0
Valor máximo (m/s)	3072,2
Valor mínimo (m/s)	2797,2

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 14.  
Ultrassom – Pó de brita com 7 dias de cura (saturado).

Média (m/s)	3552,9
Desvio Padrão (m/s)	159,4
Intervalo máximo* (m/s)	3949,0
Intervalo mínimo* (m/s)	3156,7
Valor máximo (m/s)	3731,4
Valor mínimo (m/s)	3424,6

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 15.

Ultrassom – Pó de brita com 14 dias de cura.

Média (m/s)	3279,0
Desvio Padrão (m/s)	176,1
Intervalo máximo* (m/s)	3497,7
Intervalo mínimo* (m/s)	3060,3
Valor máximo (m/s)	3478,2
Valor mínimo (m/s)	2994,0

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 16.

Ultrassom – Pó de brita com 14 dias de cura (saturado).

Média (m/s)	4422,5
Desvio Padrão (m/s)	78,7
Intervalo máximo* (m/s)	4618,0
Intervalo mínimo* (m/s)	4226,9
Valor máximo (m/s)	4494,4
Valor mínimo (m/s)	4338,4

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 17.

Ultrassom – Pó de brita com 28 dias de cura.

Média (m/s)	3387,1
Desvio Padrão (m/s)	111,6
Intervalo máximo* (m/s)	3525,7
Intervalo mínimo* (m/s)	3248,5
Valor máximo (m/s)	3515,0
Valor mínimo (m/s)	3236,2

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 18.

Ultrassom – Pó de brita com 28 dias de cura (saturado).

Média (m/s)	4447,46
Desvio Padrão (m/s)	207,44
Intervalo máximo* (m/s)	4962,8
Intervalo mínimo* (m/s)	3932,12
Valor máximo (m/s)	4672,8
Valor mínimo (m/s)	4264,4

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas anteriores e Figura 34, pode-se constatar que as velocidades aferidas se mantiveram acima dos 3.000 m/s, valor este que se espera para atestar a boa qualidade em relação a cura dos corpos de prova, bem como a inexistência de microfissuras internas que pudessem comprometer a resistência a compressão estes.

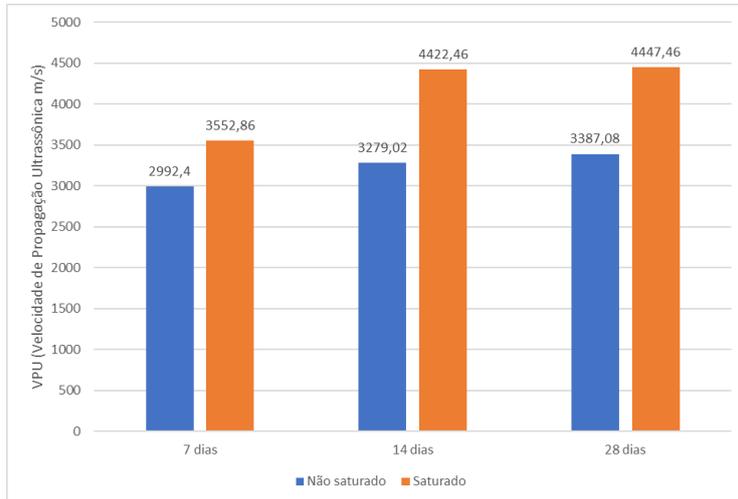


Figura 34. Velocidades de propagação ultrassônica (VPU) para CPs moldados com pó de brita.

A seguir, são apresentados os valores de velocidades de propagação ultrassônica (VPU) para os corpos de prova dosados com areia natural.

Tabela 19.

Ultrassom – Areia com 7 dias de cura.

Média (m/s)	3539,6
Desvio Padrão (m/s)	176,1
Intervalo máximo* (m/s)	3758,2
Intervalo mínimo* (m/s)	3321,0
Valor máximo (m/s)	3683,2
Valor mínimo (m/s)	3257,4

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 20.

Ultrassom – Areia com 7 dias de cura (saturada).

Média (m/s)	3342,6
Desvio Padrão (m/s)	231,6
Intervalo máximo* (m/s)	3918,0
Intervalo mínimo* (m/s)	2767,2
Valor máximo (m/s)	3502,6
Valor mínimo (m/s)	3077,0

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 2110.

Ultrassom – Areia com 14 dias de cura.

Média (m/s)	3655,6
Desvio Padrão (m/s)	387,7
Intervalo máximo* (m/s)	4136,9
Intervalo mínimo* (m/s)	3174,2
Valor máximo (m/s)	4081,6
Valor mínimo (m/s)	3278,6

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 22.

Ultrassom – Areia com 14 dias de cura (saturada).

Média (m/s)	4032,3
Desvio Padrão (m/s)	21,6
Intervalo máximo* (m/s)	4085,9
Intervalo mínimo* (m/s)	3978,7
Valor máximo (m/s)	4056,8
Valor mínimo (m/s)	4016

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 23.

Ultrassom – Areia com 28 dias de cura.

Média (m/s)	3782,2
Desvio Padrão (m/s)	251,7
Intervalo máximo* (m/s)	4094,6
Intervalo mínimo* (m/s)	3469,7
Valor máximo (m/s)	4184,2
Valor mínimo (m/s)	3558,8

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 24.

Ultrassom – Areia com 28 dias de cura (saturada).

Média (m/s)	4342,6
Desvio Padrão (m/s)	84,7
Intervalo máximo* (m/s)	4553,0
Intervalo mínimo* (m/s)	4132,1
Valor máximo (m/s)	4405,2
Valor mínimo (m/s)	4246,2

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Da mesma forma que o já constatado para os corpos de prova dosados com pó de brita, os valores de VPU inferidos foram todos superiores a 3.000 m/s, o que demonstra a qualidade da cura destes, bem como a inexistência de anomalias que pudessem comprometer a resistência a

compressão. Verifica-se também para ambas as dosagens que os valores de VPU tenderam a um incremento com o tempo de cura dos corpos de prova.

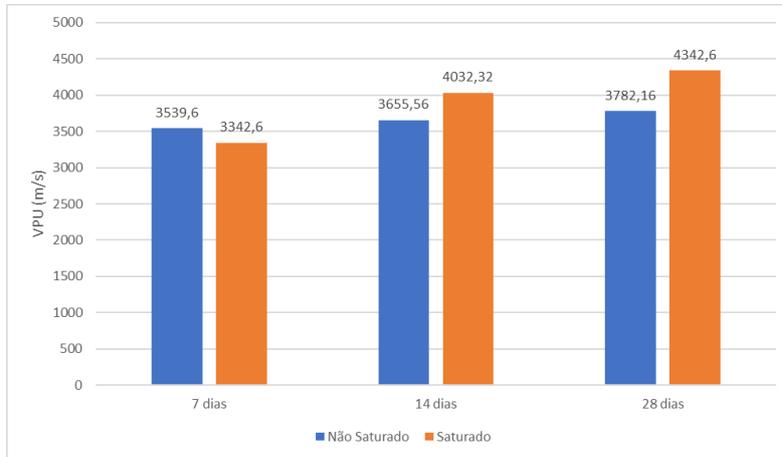


Figura 35. Velocidades de propagação ultrassônica (VPU) para CPs moldados com areia.

### 4.3 Ensaios de resistência a compressão

Após a caracterização das amostras, moldagem e cura dos corpos de prova e ensaios de VPU, foram obtidos os valores de resistência á compressão para os tempos de 7, 14 e 28 dias. Os resultados são apresentados nas Tabelas e Figuras a seguir:

Tabela 25.

Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Pó de brita não saturado.

Idade	Rc média (MPa)	Desvio Padrão	Cv (%)	Rc (MPa) Intervalo máximo*	Rc (MPa) Intervalo mínimo*	Rc (MPa) máximo	Rc (MPa) mínimo
7 dias	1,56	0,32	20,51	1,96	1,15	2,10	1,20
14 dias	1,78	0,21	11,80	2,05	1,51	2,30	1,50
28 dias	2,58	0,37	14,34	3,05	2,12	2,90	2,00

\* 95% de intervalo de confiança para a média. .

Tabela 26.

Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Pó de brita saturado.

Idade	Rc média (MPa)	Desvio Padrão	Cv (%)	Rc (MPa) Intervalo máximo*	Rc (MPa) Intervalo mínimo*	Rc (MPa) máximo	Rc (MPa) mínimo
7 dias	1,43	0,30	20,9	2,19	1,20	1,70	1,10
14 dias	2,13	0,20	9,00	2,65	1,61	2,30	1,90
28 dias	2,40	0,36	36,0	3,30	1,50	2,80	2,10

\* 95% de intervalo de confiança para a média. .

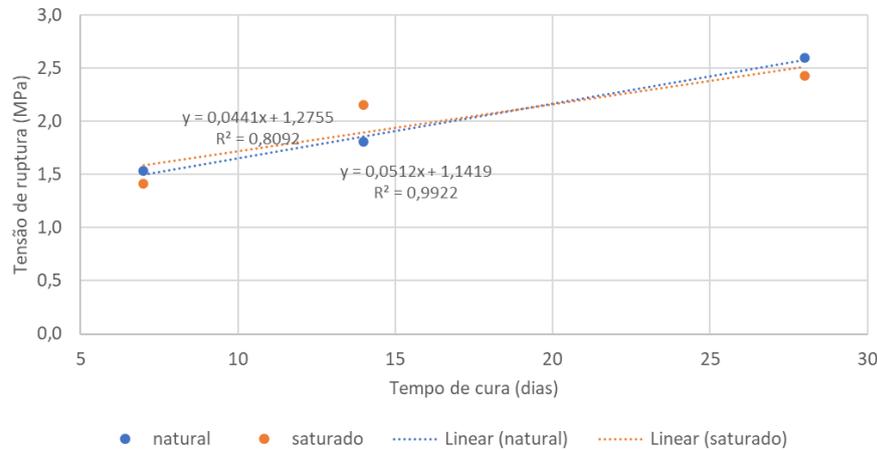


Figura 36. Resistência a compressão dos corpos de prova moldados com pó de pedra.

Por meio da Figura 36 e das Tabelas anteriores, pode-se constatar que os corpos de prova apresentaram resistência a compressão crescentes com o tempo de cura, que pode ser representada por uma relação linear bem ajustada ( $R^2=0,80$  e  $R^2=0,99$ ). Verifica-se que os valores de resistência tanto no estado saturado, como seco apresentaram-se semelhantes. A seguir, nas Tabelas 27 e 28 e Figura 37, são apresentados os valores de resistência à compressão determinados para os corpos de prova dosados com areia natural.

Tabela 27.

Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Areia não saturada.

Idade	Rc	Desvio Padrão	Cv (%)	Rc (MPa)	Rc (MPa)	Rc (MPa) máximo	Rc (MPa) mínimo
	média (MPa)			Intervalo	Intervalo		
				máximo*	mínimo*		
7 dias	1,84	0,27	14,6	2,17	1,50	2,10	1,40
14 dias	2,44	0,68	27,8	3,28	1,60	3,50	1,80
28 dias	2,96	0,44	14,8	3,50	2,41	3,70	2,60

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

Tabela 28.

Valores médios de resistência a compressão – Amostra: Areia saturada.

Idade	Rc	Desvio Padrão	Cv (%)	Rc (MPa)	Rc (MPa)	Rc (MPa) máximo	Rc (MPa) mínimo
	média (MPa)			Intervalo	Intervalo		
				máximo*	mínimo*		
7 dias	1,0	0,20	20,0	1,40	0,50	1,10	0,8
14 dias	1,20	0,26	21,6	1,85	0,55	1,40	0,9
28 dias	1,80	0,10	5,00	2,04	1,55	1,90	1,70

\* 95% de intervalo de confiança para a média.

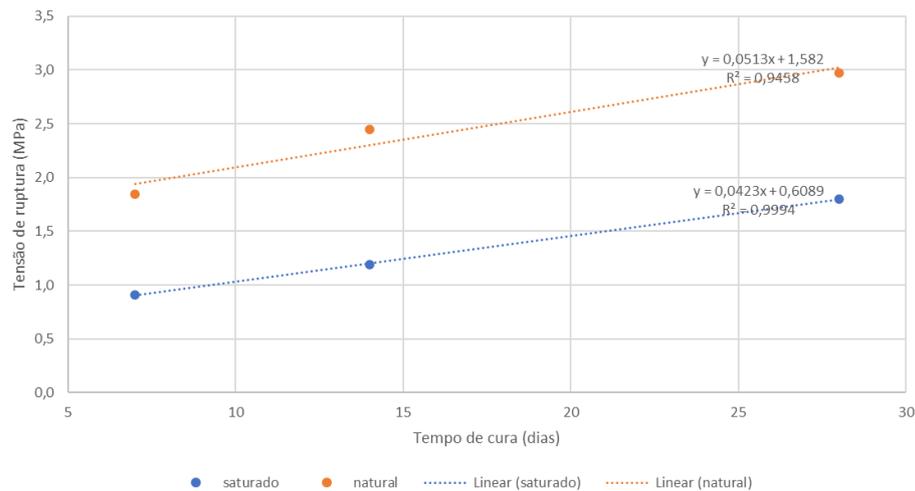


Figura 37. Resistência a compressão dos corpos de prova moldados com areia.

Da mesma forma que o constatado para os corpos de prova dosados com pó de brita, as resistências a compressão demonstradas na Figura 37 e nas Tabelas 27 e 28 apresentaram incremento com o tempo de cura. Tanto a resistência no estado seco, como no estado saturado demonstraram uma relação linear com o tempo bem ajustada, como se observa por meio dos valores de coeficiente de correlação obtidos ( $R^2=0,94$  e  $R^2=0,99$ ). Todavia, os corpos de prova dosados com areia apresentaram resultados de resistência a compressão, comparando-se estados seco e saturado, distintos; diferentemente dos ensaios conduzidos com os corpos de prova dosados com pó de brita. A Figura 38 demonstra um comparativo entre as resistências não saturadas obtidas para os corpos de prova dosados com areia e pó de brita.

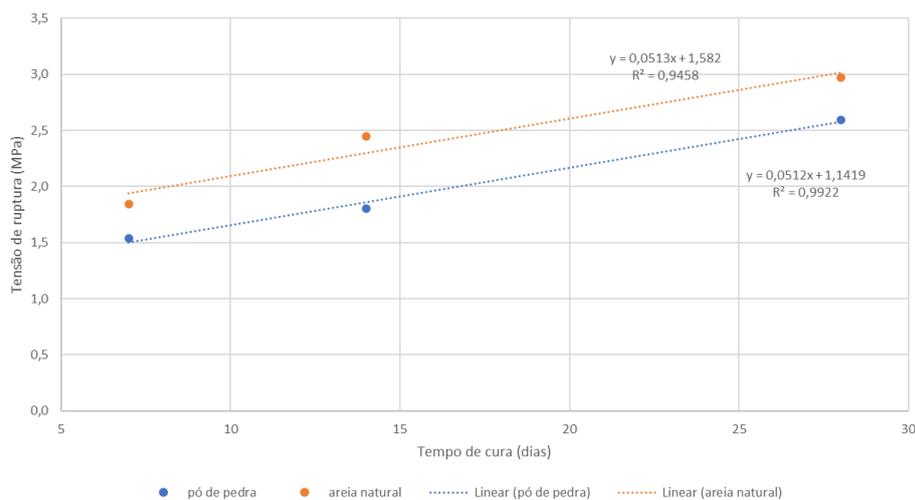


Figura 38. Comparação entre as resistências a compressão para argamassas dosadas com areia e pó de brita (não saturado).

Por meio da Figura 38 observa-se que para ambas as dosagens estudadas, as resistências a compressão (em qualquer idade de cura) foram superiores ao mínimo estabelecido pela ABNT NBR 13.749, ou seja, 1,5 MPa. Também foram determinados por meio dos ensaios conduzidos

os valores do módulo de elasticidade para os corpos de prova rompidos. Os resultados são apresentados na sequência (Figura 39 a 41):

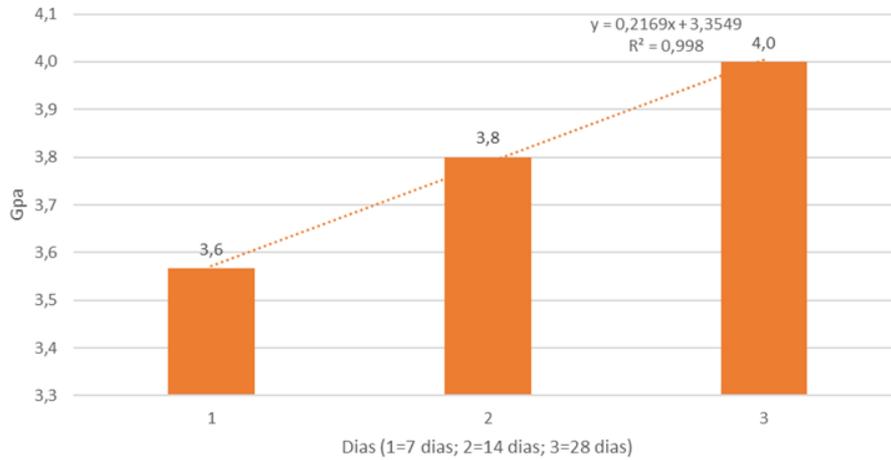


Figura 39. Módulos de elasticidade (E) determinados para os diferentes tempos de cura (areia).

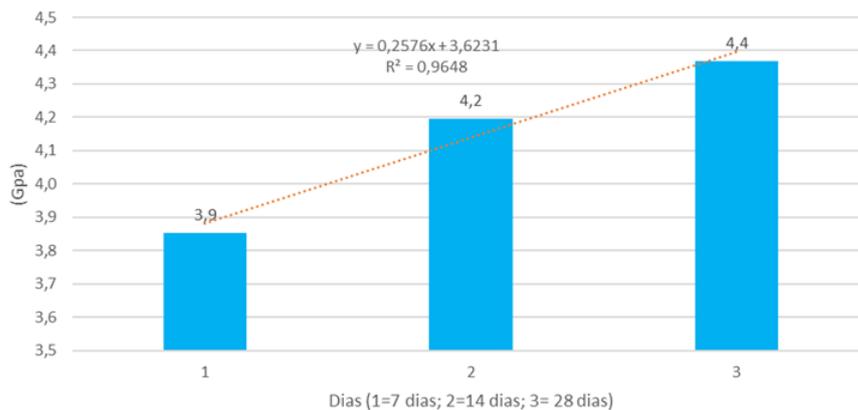


Figura 40. Módulos de elasticidade (E) determinados para os diferentes tempos de cura (pó de brita).

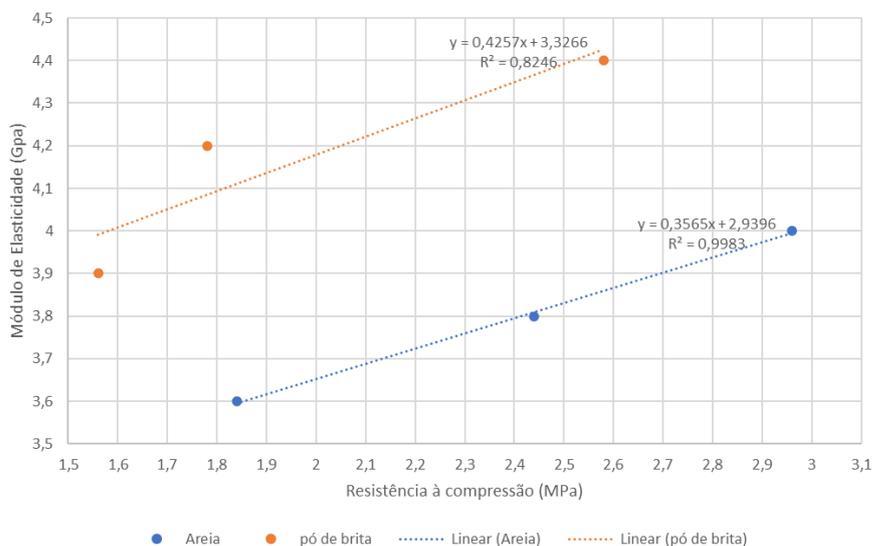


Figura 41. Correlação entre módulos de elasticidade e resistência a compressão

Verifica-se por meio das Figuras 39 e 40 que os módulos de elasticidade variaram entre 3,9 e 4,4 GPa, apresentando tendência de incremento com o tempo de cura. Identifica-se, por meio da Figura 41, relações lineares bem ajustadas entre os módulos de elasticidade e as resistências a compressão, considerando todos os tempos de cura. Os valores dos módulos de elasticidades obtidos e as correlações lineares com as resistências à compressão estão dentro dos parâmetros determinados por Mohamad et al. (2009), Miranda (2000) e Silva e Campiteli (2008) considerando-se diferentes traços estudados. Na Tabela 29 são apresentados os coeficientes de Poisson determinados para cada dosagem:

Tabela 29.  
Coeficientes de Poisson ( $\nu$ ) obtidos para as amostras ensaiadas.

CP	$\nu$	Desvio Padrão	Cv (%)	$\nu$	$\nu$	$\nu$	$\nu$
				Intervalo máximo*	Intervalo mínimo*	máximo	mínimo
Areia	0,21	0,05	23,8	0,25	0,17	0,28	0,12
Pó de brita	0,24	0,10	41,6	0,31	0,16	0,40	0,14

Sabe-se que o coeficiente de Poisson é a relação entre a deformação transversal relativa e a deformação longitudinal relativa. Deste modo, para os níveis máximos de tensão atingidos nos ensaios de ruptura (tempo de cura de 28 dias), os coeficientes de Poisson obtidos para os corpos de prova dosados com areia e pó de brita foram respectivamente 0,21 e 0,24. Os valores, em média, estão condizentes com o apresentado por Carneiro (1999), citado em Silva e Campiteli (2008); segundo o autor, o coeficiente típico de Poisson para argamassas deve variar entre 0,15 e 0,25.

#### 4.4 Ensaios de arrancamento de argamassa

Como descrito no capítulo anterior, foram conduzidos ensaios de arrancamento de camadas de argamassas aplicadas em painéis experimentais. Nas Tabelas 30 a 32 e Figura 41, são apresentados os resultados obtidos por meio dos testes:

Tabela 30.  
Valores médio de resistência ao arrancamento da camada de chapisco ( $R_{ac}$ ).

Dosagem	$R_{ac}$ média (MPa)	Desvio Padrão	Cv (%)	$R_{ac}$ (MPa)	$R_{ac}$ (MPa)	$R_{ac}$ (MPa)	$R_{ac}$ (MPa)
				Intervalo máximo*	Intervalo mínimo*	máximo	mínimo
Areia	0,11	0,002	1,81	0,12	0,10	0,12	0,11
Pó de brita	0,23	0,046	20,0	0,35	0,12	0,29	0,20

Tabela 31.

Valores médio de resistência ao arrancamento da camada de chapisco + emboço ( $R_{ace}$ ).

Dosagem	$R_{ace}$ média (MPa)	Desvio Padrão	Cv (%)	$R_{ace}$ (MPa) Intervalo máximo*	$R_{ace}$ (MPa) Intervalo mínimo*	$R_{ace}$ (MPa) máximo	$R_{ace}$ (MPa) mínimo
Areia	0,59	0,059	10,0	0,74	0,44	0,65	0,53
Pó de brita	0,62	0,015	2,42	0,66	0,60	0,64	0,61

Tabela 32.

Valores médio de resistência ao arrancamento da camada de chapisco + emboço + reboco ( $R_{aceb}$ ).

Dosagem	$R_{aceb}$ média (MPa)	Desvio Padrão	Cv (%)	$R_{aceb}$ (MPa) Intervalo máximo*	$R_{aceb}$ (MPa) Intervalo mínimo*	$R_{aceb}$ (MPa) máximo	$R_{aceb}$ (MPa) mínimo
Areia	0,65	0,061	9,40	0,80	0,50	0,69	0,58
Pó de brita	0,65	0,046	7,07	0,77	0,54	0,71	0,63

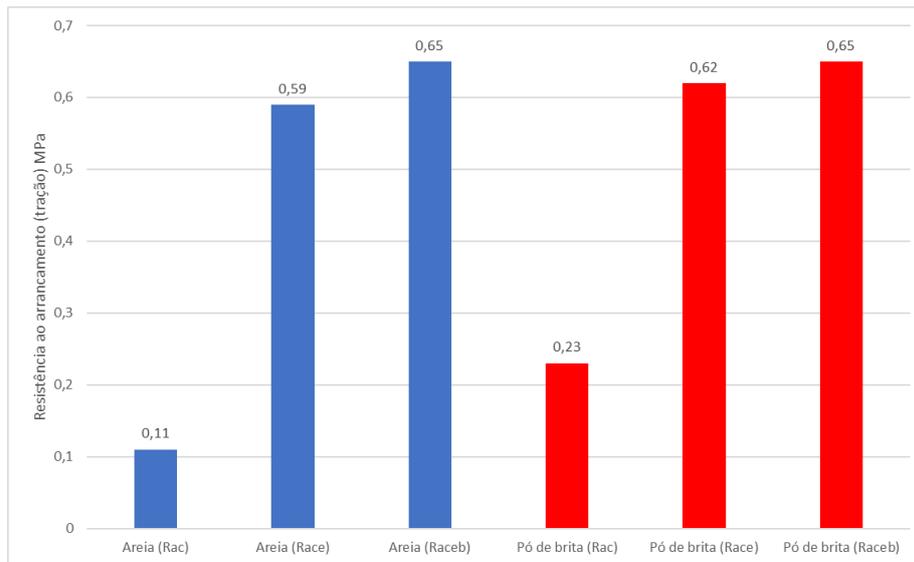
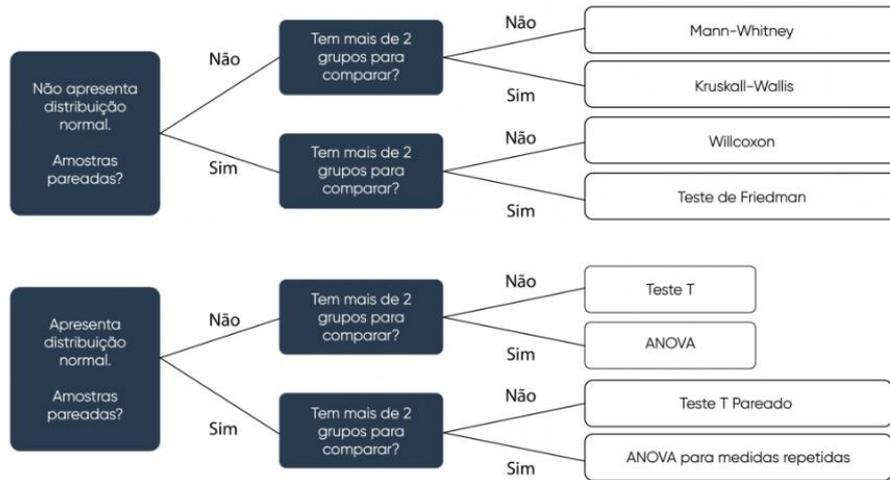


Figura 41. Comparação entre as resistências ao arrancamento (28 dias).

Para as três camadas de revestimento (chapisco + emboço + reboco) tanto a areia, como o pó de brita, tiveram resistências à tração iguais. Tal demonstra que os dois agregados podem ser utilizados para este fim. Além disso, no gráfico resumo é possível perceber que o pó de brita comportou-se inicialmente com resistência maior a da areia. No entanto, aos 28 dias a areia teve resistência similar ao pó.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para a análise dos resultados e estabelecer comparativos entre os parâmetros obtidos considerando as argamassas dosadas com areia e pó de brita foram conduzidas análises estatísticas utilizando-se como teste de média o método T-Pareado. O procedimento para tomada de decisão acerca do método utilizado é demonstrado na Figura 42.



**Figura 42.** Processo de tomada de decisão para escolha do tratamento estatístico utilizado.

Portanto, para a utilização do Teste T-Pareado foram adotadas as seguintes hipóteses:

- Hipótese  $h_0$  (nula) = as diferenças entre as variáveis é 0 ( $p > 0,05$ );
- Hipótese  $h_1$  = existe diferença entre as variáveis ( $p < 0,05$ ).

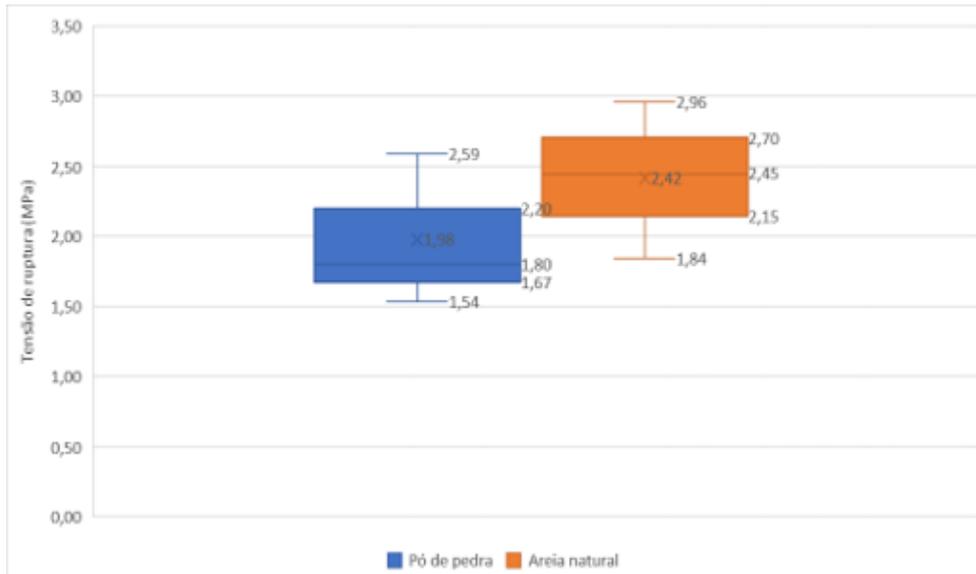
### 5.1 Ensaios de resistência a compressão

A Tabela 33 e a Figura 43 apresentam a comparação entre as médias das resistências a compressão obtidas para os corpos de prova dosados com areia e pó de brita nos tempos de cura de 7, 14 e 28 dias.

Tabela 33.

Comparação entre as resistências a compressão médias obtidas (amostras não saturadas).

Análise	p	Observação
$RC_{a7\text{dias}} \times RC_{pp7\text{dias}}$	0,031 ( $< 0,05$ )	As médias diferem-se entre si
$RC_{a14\text{dias}} \times RC_{pp14\text{dias}}$	0,119 ( $> 0,05$ )	Não há diferença entre as médias obtidas
$RC_{a28\text{dias}} \times RC_{pp28\text{dias}}$	0,128 ( $> 0,05$ )	Não há diferença entre as médias obtidas



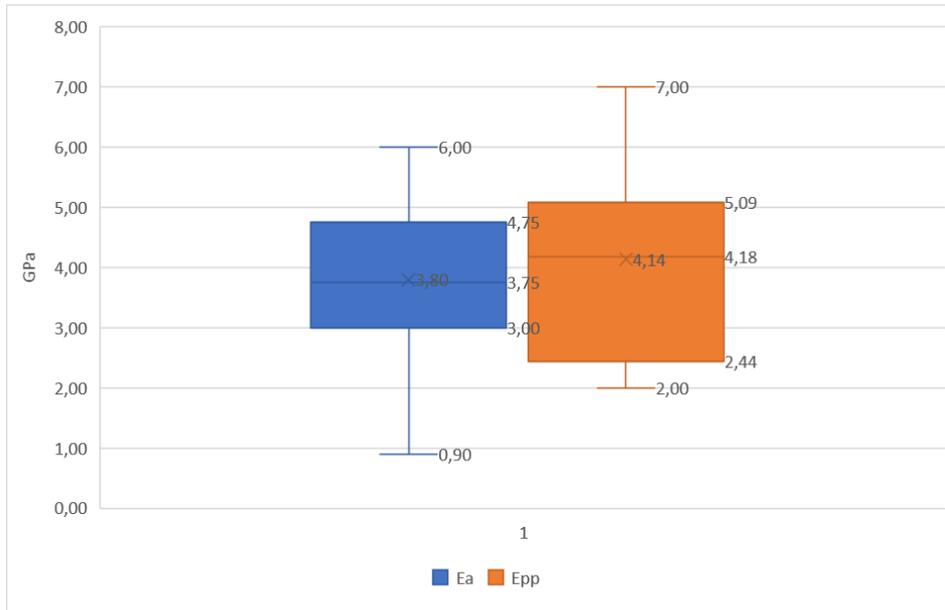
**Figura 43.** Comparação entre as médias de resistência a compressão para 28 dias de cura.

De acordo com a Tabela 33 pode-se constatar que somente as médias de resistência a compressão aos 7 dias obtidas para os corpos de prova dosados com areia e pó de brita se diferem estatisticamente. Ao se considerar os tempos de cura de 14 e 28 dias, nota-se que as resistências médias não apresentam diferenças estatísticas significantes, tal comportamento pode ser observado por meio da Figura 43 considerando 28 dias de cura. As Tabelas 34 e 35 e Figuras 44 e 45 demonstram a comparação entre os valores médios dos módulos de elasticidade (28 dias) e coeficiente de Poisson para ambas as dosagens.

Tabela 34.

Comparação entre os módulos de elasticidade aos 28 dias (amostras não saturadas).

Análise	p	Observação
$E_{pp28\text{dias}} \times E_{a28\text{dias}}$	0,49 (>0,05)	Não há diferença entre as médias obtidas

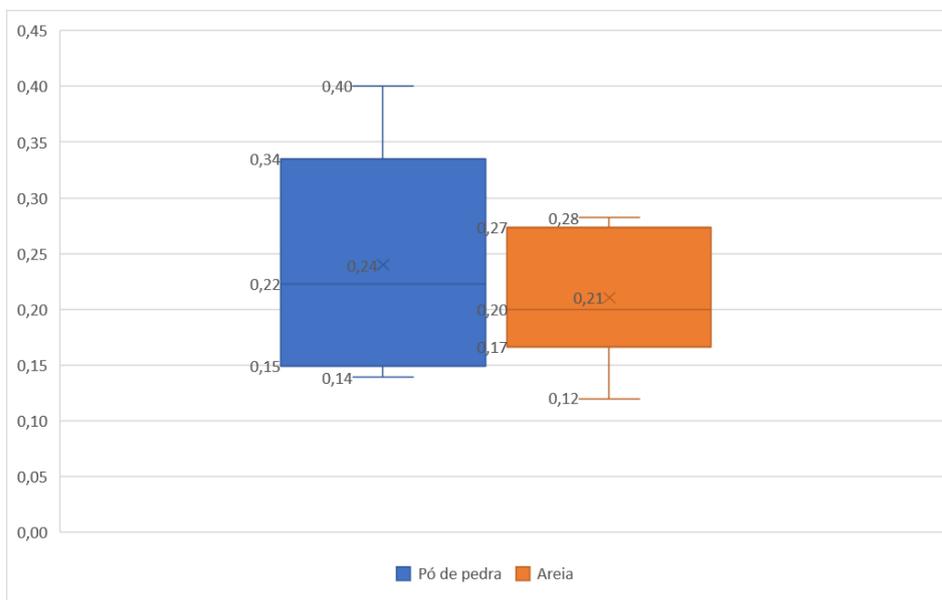


**Figura 44.** Comparação entre as médias de módulo de elasticidade para 28 dias de cura.

Tabela 35.

Comparação entre os coeficientes de Poisson (amostras não saturadas).

Análise	p	Observação
$V_{pp28dias} \times V_{a28dias}$	0,43 ( $>0,05$ )	Não há diferença entre as médias obtidas



**Figura 45.** Comparação entre as médias de coeficiente de Poisson para 28 dias de cura.

Por meio dos gráficos e tabelas apresentadas, constata-se que tanto os valores dos módulos de elasticidade, bem como dos coeficientes de Poisson obtidos não apresentam diferença estatística significativa considerando-se ambas as dosagens estudadas.

## 5.2 Ensaios de resistência ao arrancamento

Tabela 36.  
Comparação entre as resistências ao arrancamento.

Análise	p	Observação
Rae_areia x Rae_pó de brita	0,056 (>0,05)	Não há diferença entre as médias obtidas
Race_areia x Race_pó de brita	0,47 (>0,05)	Não há diferença entre as médias obtidas
Raceb_areia x Raceb_pó de brita	0,86 (>0,05)	Não há diferença entre as médias obtidas

Pode-se observar que os resultados obtidos para as resistências de arrancamento tanto para chapisco, chapisco + emboço, chapisco + emboço + reboco, para o pó de brita e para a areia, de acordo com as análises estatísticas utilizando-se como teste de média o método T-Pareado, não obtiveram diferentes médias. Deste modo, corrobora a utilização do agregado alternativo estudado.

## 5.3 Correlação entre resistência a compressão e VPU

A Tabela 37 traz a correlação entre VPU e a máxima resistência a compressão obtida para ambas as dosagens (tempo de cura de 28 dias).

Tabela 37.  
Correlações obtidas entre VPU e resistência a compressão (28 dias)

Análise	R (Pearson)	Observação
VPU x Rc <sub>areia</sub>	0,857	Forte correlação positiva
VPU x Rc <sub>pp</sub>	0,700	Forte correlação positiva

Segundo a Tabela 37, verifica-se que para ambas as dosagens pode-se obter forte correlação positiva entre VPU e resistência à compressão, ou seja, elevados valores de VPU tendem a representar elevados valores de resistência a compressão.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo, apresentaram-se dados estatísticos da utilização do pó de brita como recurso construtivo mitigador de impactos ambientais e, dentro deste contexto, destacou-se a sustentabilidade em sua utilização.

A gestão dos bens que são extraídos da natureza de forma direta ou indireta e a redução dos impactos ambientais para um modelo de desenvolvimento sustentável se traduz neste momento com os compromissos da Agenda 2030, expressos nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Ainda, com esta pesquisa, comprovou-se a viabilidade da utilização do pó de brita para produção de argamassa de revestimento e assentamento, possibilitando uma redução no custo da argamassa produzida e, principalmente no impacto ambiental decorrente da retirada de areia do leito dos rios.

Para o pó de brita estudado, os ensaios de caracterização realizados mostraram que este material possui todas as características físicas e químicas necessárias à sua utilização como agregado miúdo em argamassas. Sua curva granulométrica, segundo a NBR 7211, classifica-o como sendo uma areia média.

As argamassas analisadas para assentamento, na compressão, se mostraram equivalentes, e a areia teve seus resultados maiores quando em estado não saturado. Já o pó de brita, quando saturado e com 28 dias, mostrou-se mais resistente.

Ainda, as argamassas de arrancamento mostraram-se com resultados mais elevados para o pó de brita, no painel 1 (argamassa produzida com chapisco) e painel 2 (argamassa produzida com chapisco e emboço). Já as argamassas produzidas com as três camadas de revestimento, no painel 3 (chapisco, emboço e reboco) obtiveram os mesmos resultados à tração tanto para o pó de brita, como para a areia natural.

Deste modo, pôde-se evidenciar que, as argamassas com pó de brita apresentaram valores mais elevados de resistência à tração na flexão do que a argamassa convencional. No ensaio da resistência à compressão, ambas argamassas se aproximaram da resistência de projeto em torno de 3 MPa. Portanto, o denominado pó de brita é um material adequado para o preparo de argamassas e, cada vez mais, este vem sendo introduzido nas dosagens de argamassas e concreto.

De estudo de laboratório, pode-se concluir que o pó de brita é bem apropriado escolhê-lo como uma alternativa de areia. A utilização desse material proporciona vantagens no âmbito de economia, desempenho, durabilidade e consciência ambiental. A pesquisa de mercado foi

realizada em três pedreiras em São Paulo, onde a areia custa em torno de R\$ 130,00, enquanto, o pó de brita custa equivalente a R\$ 90,00. Redução de cerca de 30,7% comparado a areia.

Ainda, ressalta-se que em outros estados, como o Paraná por exemplo, há pesquisas que mostram que o pó de brita é utilizado como rejeito e muitas vezes não é comercializado e ficam depositados nas pedreiras sem utilização.

Deste modo, pode-se concluir que a utilização dos recursos mitigadores de impactos ambientais como o pó de brita, é um material alternativo à areia natural, pois apresentou todos os requisitos necessários a um agregado miúdo, melhorou significativamente a maioria das propriedades das argamassas, além de contribuir com a redução de impactos ambientais no processo de produção de argamassa.

Contudo, este estudo abarca em um relevante instrumento de sustentabilidade dando a importância aos aspectos econômicos, ambientais e sociais envolvidos, e ainda, possibilita agregamento de valores comerciais aos resíduos que estão dispostos na natureza, mitigando os impactos produzidos pela sua deposição em ambiente urbano.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. (2021). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Recuperado em 2021-11-10.
- Aleksanin, A. (2019). Development of construction waste management. Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russia. E3S Web of Conferences 97. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706040FORM-2019>>. Recuperado em: 2021 – 12 – 01.
- ANTUNES, Carina Beleia. Análise do uso de grãos da areia de britagem de origem granítica na produção de argamassas de revestimento. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. NBR 10.004: resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. NBR 13.276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. NBR 13.277: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. NBR 13.279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. NBR 13.281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005
- \_\_\_\_\_. NBR 13.528: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.
- \_\_\_\_\_. NBR 13.529 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. NBR 13.749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. NBR 15.259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 52 – Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

- \_\_\_\_\_. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro
- Barbieri, José Carlos, et al. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Revista de Administração de Empresas*, vol.50, n.2, 2010. p. 146-154.
- Bitsiou, E, & Giarma, C. (2020). Parameters related to building components' life-cycle analysis in methods for buildings' environmental performance assessment. *Iop Conference Series: Earth and Environmental Science*, [S.L.], v. 410, p. 012066, 24 jan. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/410/1/012066>>. Recuperado em 2021-08-18.
- Boni, V., & Quaresmeira, S. J. (2005). Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. Em Tese.
- BRASIL. (2010). Lei Federal no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Brasília*.
- \_\_\_\_\_. Decreto Lei no 10.257 de 10 de Junho de 2001: Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. (2001). Brasília. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm)>. Recuperado em 2021-12-07.
- Borinaga-Treviño, R.; Orbe, A.; Canales, J.; Norambuena-Contreras, J. Thermal and mechanical properties of mortars reinforced with recycled brass fibres. *Construction and Building Materials*, 284, 2021. Article.
- Caldas, L. R., Toledo, F., & Romildo, D. (2019). Avaliação do Ciclo de Vida de materiais cimentícios utilizados no Brasil: estudo para o bloco de concreto e diferentes 97 argamassas. *Lalca: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 34-61.
- Caldas, L. R., Paiva, R. de L. M., Martins, A. P. de S., & Toledo Filho, R. D. (2020). Argamassas de terra versus convencionais: avaliação do desempenho ambiental considerando o ciclo de vida. *IX Sustentável*, 6(4), 115–128. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n4.115-128>
- Caneda-Martínez L, Monasterio M, Moreno-Juez J, Martínez-Ramírez S, García R, Frías M. Behaviour and Properties of Eco-Cement Pastes Elaborated with Recycled Concrete Powder from Construction and Demolition Wastes. *Materials*. 2021; 14(5):1299. <https://doi.org/10.3390/ma14051299>
- Carvalho, S. Z. et al. (2018). Reducing environmental impacts: the use of basic oxygen furnace slag in portland cement. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 172, p. 385-390.
- Casagrande, B. (2019). Proposta de indicadores para certificação de edifícios inteligentes e sustentáveis. Campinas: PUC-Campinas. 214 f.: il. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistema de Infraestrutura Urbana,

Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Disponível em: <http://tede.bibliotecadigital.puc-campinas.edu.br:8080/jspui/bitstream/tede/1297/2/BRUNO%20CASAGRANDE.pdf>. Recuperado em 2021-09-10.

Castanheira, R. P. S., Guedes, F. L., Junior, C. F. C., Almeilda, K. P. & Azevedo, F. G. (2016). A Viabilidade do Uso De Tecnologias Sustentáveis na Construção Civil. Faculdade Estácio do Recife, Campus San Martin. Revista eletrônica. Vol. 1 – Nº3. Disponível em: <https://reer.emnuvens.com.br/reer/article/view/88/36>. Recuperado em 2021-05-25.

CBIC. CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. INFORMATIVO ECONÔMICO (2021). Disponível em: <https://cbic.org.br/wpcontent/uploads/2021/03/informativo-economico-03-marcio-2021-pib-brasil-2020.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em:

Cortese, T. T. P., Paschoalin Filho, J. A., Faria, A. C., & Ribeiro, A. P. (2017). Sustentabilidade nas construções: a necessidade de discussão deste novo paradigma. Cidades inteligentes e sustentáveis. Barueri – SP.

Damasceno, J. L. B. (2016). Requisitos de sustentabilidade aplicáveis ao setor da construção civil pesada. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <doi:10.11606/D.3.2016.tde-24082016-085010>. Recuperado em 2021-09-05.

Diógenes, A. G. Estudo do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da região metropolitana de Fortaleza. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil)–Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

Dodge Data & Analytics. (2016). World Green Building Trends. SmartMarket report. Disponível em: <<http://fidic.org/sites/default/files/World%20Green%20Building%20Trends%202016%20SmartMarket%20Report%20FINAL.pdf>>. Recuperado em 2021-10-01.

Ducoli, S.; Zacco, A.; Bontempi, E. Incineration of sewage sludge and recovery of residue ash as building material: A valuable option as a consequence of the COVID-19 pandemic. Journal of Environmental Management, 282, 2021. Article.

Erbs, A.; Nagalli, A.; Carvalho, K. Q. D.; Mazer, W. et al. Development of plasterboard sheets exclusively from waste. Journal of Building Engineering, 44, 2021. Article.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2020) O que são Cidades Inteligentes e Sustentáveis? Série: “O papel das cidades no uso da energia”. Informe Técnico. IT-EPE-DEA-SEE-006/2020. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/IT1%20%20O%20que%20sa%CC%83o%20Cidades%20Inteligentes\\_rev2020\\_10\\_30%20%282%29.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/IT1%20%20O%20que%20sa%CC%83o%20Cidades%20Inteligentes_rev2020_10_30%20%282%29.pdf)>. Recuperado em 2021-05-08.

- Gandini, J. M. D. (2016). Aplicação de conceitos de sustentabilidade no desenvolvimento de projeto de componentes estruturais pré-fabricados com emprego de madeira de florestas plantadas. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. doi: 10.11606/D.102.2016.tde-14102016-093427>. Recuperado em 2021-05-08.
- Gomes, J. A. P., Muse, L. P., Guedes, A. L. A., Rodriguez, M. V. R., & Longo, O. C. (2020). Smart Cities: Sustainable Construction and Smart Buildings are Trends for the Future. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 76465-76484. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-172>. Recuperado em: 2021-09-10.
- Guerrero-Miguel, D & Álvarez-Fernández, M.I. & Gero, María & González Nicieza, Celestino. (2021). Determination of uniaxial tensile strength of brittle materials using tubular samples. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 833. 012016. 10.1088/1755-1315/833/1/012016.
- Guggenberger, L. F., & Rotondaro, A. (2021). Por uma economia circular na indústria da construção civil. Disponível em: <<https://exame.com/blog/impactosocial/por-uma-economia-circular-na-industria-da-construcao-civil/>>. Recuperado em 2021-10-21.
- Habert, G. et al. (2020). Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, [S.L.], v. 1, n. 11, p. 559-573.
- Hossain, M. U., & Thomas, N.G. (2019). Influence of waste materials on buildings' life cycle environmental impacts: adopting resource recovery principle. *Resources, Conservation And Recycling*, [S.L.], v. 142, p. 10-23. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.010>>. Recuperado em 2021-11-08.
- Huang, B. et al. (2020) A Life Cycle Thinking Framework to Mitigate the Environmental Impact of Building Materials. *One Earth*, [S.L.], v. 3, n. 5, p. 564-573,. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.010>>. Recuperado em 2021-11-08.
- Hunkeler, D., Lichtenvort, K., & Rebitzer, G. (2008). *Environmental Life Cycle Costing*. New York: Setac, 184 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.1201/9781420054736>>. Recuperado em 2021-11-15.
- Ighalo, J. O., Adeniyi, & A. G. (2020). A perspective on environmental sustainability in the cement industry. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 161-164.
- Jin, R., Yuan, H., & Chen, Q. (2018). Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. *Resources, Conservation & Recycling*, 140, 175-188.
- John, V. M. J. (1999) Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: *Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2.*, São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, IBRACON, p.44-55.
- John, V. M. J. (2000) *Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. São Paulo. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

- Juan-Valdés, A.; Rodríguez-Robles, D.; García-González, J.; Sánchez de Rojas GÓMEZ, M. I. et al. Mechanical and microstructural properties of recycled concretes mixed with ceramic recycled cement and secondary recycled aggregates. A viable option for future concrete. *Construction and Building Materials*, 270, 2021. Article.
- Kledynski, Z.; Falacínski, P.; Machowska, A.; Szarek, Ł. et al. Hardening slurries with fluidized-bed combustion by-products and their potential significance in terms of circular economy. *Materials*, 14, n. 9, 2021. Article.
- Klepa, R. B., et al. (2018). Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control, *Journal of Cleaner Production*. Disponível em: <doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.225>. Recuperado em 2021-12-06.
- Loginova, E.; Sschollbach, K.; Proskunin, M.; Brouwers, H. J. H. Municipal solid waste incineration bottom ash fines: Transformation into a minor additional constituent for cements. *Resources, Conservation and Recycling*, 166, 2021. Article.
- López-García, A. B.; Cotes-Palomino, T.; Uceda-Rodríguez, M.; Moreno-Maroto, J. M. et al. Application of life cycle assessment in the environmental study of sustainable ceramic bricks made with ‘alperujo’ (Olive pomace). *Applied Sciences (Switzerland)*, 11, n. 5, p. 1-16, 2021. Article.
- Mansur, H. S.; Pereira, M.; Oréfice, R. 2005. Técnicas de caracterização de materiais. In: R. Oréfice; H. Mansur; M. Pereira. (Org.). *Biomateriais: fundamentos e aplicação*. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 236p.
- Mendes, G. (2018). Os desafios e vantagens da sustentabilidade empresarial aplicada. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://cebds.org/sustentabilidade-empresarial/#.YV-QzJrMLIV>. Recuperado em: 2021-10-01.
- Menegaki, M. & Damigos, D. (2018). A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 8-15. doi: 10.1016/j.cogsc.2018.02.010.
- Mohamad, N. et al. (2021). Environmental impact of cement production and Solutions: a review. *Materials Today: Proceedings*, [S.L.].
- Munaro, M.R., Tavares, S.F., & Bragança, L. (2020). Towards circular and more sustainable buildings: a systematic literature review on the circular economy in the built environment. *Journal of Cleaner Production* Clean. Volume 260, 1 de julho de 2020, 121134. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121134>. Recuperado em: 2021 – 09 – 30. ISSN 0959-6526.
- Oliveira, V. P. de ., & Souza, L. F. A. de . (2021). Análise da Viabilidade Técnica do Uso de Contêineres Marítimos na Construção Civil para Habitações Sociais. *Epitaya E-Books*, 1(6), 134-163. <https://doi.org/10.47879/ed.ep.2021250p134>
- MOTA, J. D. et al. 2011. Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos. *Química dos Materiais*, 1(1):31–38.

- Paschoalin Filho, J. A., Guerner Dias, A., Cortes, P., & Lima Duarte, E. (2014). Manejo De Resíduos De Demolição Gerados Durante Obras Da Arena De Futebol Palestra Itália (Allianz Parque) Localizada Na Cidade De São Paulo/Brasil. *Holos*, 6, 73-91. Disponível Em: <Doi:Https://Doi.Org/10.15628/Holos.2013.1548>. Recuperado em 2021-11-08.
- Paschoalin Filho, J. A., Bezerra, P. R. L., Oliveira, L. R. G. J., & Faria, A. C. (2017). Gerenciamento de resíduos de construção civil em edifícios residenciais no município de São Paulo. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v.11, n.1, p73-89. Disponível em: <doi: 10.24857/rgsa.v11i1.1217>. Recuperado em 2021-11-22.
- Passuello, A. C. B. et al. (2014). Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. *Ambiente Construído*, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 7- 20. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212014000400002>. Recuperado em 2021-05-08.
- Passuello, A. C. B. et al. (2019). Valorização de resíduos de ágata em argamassas e concretos: avaliação do ciclo de vida. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0697>. Recuperado em 2021-11-22.
- Pinto, T. P. (1999). Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Quaglio, R. S., & Arana , A. R. A. (2020). Diagnóstico da gestão de resíduos da construção civil a partir da leitura da paisagem urbana. *Sociedade & Natureza*, 32, 457-471. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-47547>, Recuperado em 2021-11-30.
- Queirós, A., Faria, D., & Almeida, F. (2017). PONTOS FORTES E LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS DE PESQUISA QUALITATIVA E QUANTITATIVA. *European Journal of Education Studies*. Disponível em: <doi: http://dx.doi.org/10.46827/ejes.v0i0.1017>. Recuperado em 2021-11-22.
- RAMOS, A.; BRIGA-SÁ, A.; PEREIRA, S.; CORREIA, M. et al. Thermal performance and life cycle assessment of corn cob particleboards. *Journal of Building Engineering*, 44, 2021. Article.
- Santos, White José dos et al. Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas. *Ambiente Construído* [online]. 2019, v. 19, n. 4 [Acessado 8 Janeiro 2023], pp. 271-288. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400355>. Epub 03 Out 2019. ISSN 1678-8621. https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400355.
- Shooshtarian, S., Caldera, S., Maqsood, T., & Ryley, T. (2020). Using Recycled Construction and Demolition Waste Products: A Review of Stakeholders' Perceptions, Decisions, and Motivations. *Recycling*. Disponível em <https://doi.org/10.3390/recycling5040031>. Recuperado em 2021-12-04.

- SILVA, Jussara Rodrigues da; BAO, Michele. Análise técnica e econômica da utilização de areia de britagem com granulometria otimizada em argamassa de chapisco e emboço. 2014. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.
- Superti V, Houmani C, Hansmann R, Baur I, Binder CR. Strategies for a Circular Economy in the Construction and Demolition Sector: Identifying the Factors Affecting the Recommendation of Recycled Concrete. Sustainability. 2021; 13(8):4113. <https://doi.org/10.3390/su13084113>
- Techio, E. M., Gonçalves, J. P., & Costa, P. N. (2016). Representação Social da Sustentabilidade na Construção Civil: A Visão de Estudantes Universitários. Ambiente & Sociedade N São Paulo V. Xix. 187-206.
- Thiollent, M. (2005). Metodologia da pesquisa-ação (14a. ed.). São Paulo: Cortez.
- Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Alvenaria Estrutural. Propriedades da argamassa. Disponível em: [https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/propriedades\\_de\\_argamassa.php](https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/alvenaria-estrutural/propriedades_de_argamassa.php)
- Tokarski, Rosângela Basso, Comportamento da Areia de Britagem de Rocha Calcária na Argamassa de Revestimento, 2017. 208 páginas. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Vaghetti, M. A. O., Santos, T. C., & Uliana, D. (2021). Construção Civil e Sustentabilidade: materiais da Casa Popular Eficiente da UFSM. IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis – 19 a 21 de maio de 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228822>. Recuperado em: 2021 – 08 – 22
- Yin, R. K. (2015). Estudo de caso: planejamento e métodos (5a. ed.). Porto Alegre: Bookman.

**ANEXO A – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DOS MATERIAIS ESTUDADOS**

<b>frasco de Le Chatelier (cimento)</b>
volume inicial 0,5 cm <sup>3</sup> de álcool
massa inicial cimento 60 g
volume final 21 cm <sup>3</sup>
massa específica = massa da amostra/leitura final - leitura inicial do frasco
massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
2,93

<b>frasco de Chapman (areia) massa específica real</b>
volume inicial 200 ml
volume final 392 ml
massa inicial 500 g
massa específica = massa da amostra/leitura final - leitura inicial do frasco
massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )
2,60

<b>frasco de Chapman (pó de brita) massa específica real</b>
volume inicial 200 ml
volume final 386 ml
massa inicial 500 g
massa específica = massa da amostra/leitura final - leitura inicial do frasco
massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )
2,69

<b>massa aparente da areia</b>	<b>medida frasco cm<sup>3</sup></b>	<b>peso frasco inicial</b>	<b>peso frasco final</b>	<b>massa específica aparente natural (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>média 1,51</b>
1 (3p)	188,48	156,80	453,47	1,57	
2 (3a)	188,48	155,93	451,00	1,57	
3 (5a)	189,23	139,31	404,22	1,40	

<b>massa aparente do pó de brita</b>	<b>medida frasco cm<sup>3</sup></b>	<b>peso frasco inicial</b>	<b>peso frasco final</b>	<b>massa específica aparente natural (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>média 1,71</b>
1 (3p)	188,48	156,80	481,12	1,72	
2 (3a)	188,48	155,93	467,04	1,65	
3 (5a)	189,23	139,31	470,22	1,75	

## ANEXO B – COMPRESSÃO SIMPLES

7 DIAS				
CORPO DE PROVA	MEDIDA	PESO	ULTRASSOM FREQUENCIA 45khz	COMPRESSAO SIMPLES (MPa)
2A	50X99	380,05	61,4	1,3
4A	50X99	387,11	55,7	1,8
1AS	48X99	363,93	57,1	0,7
2AS	49,8X99	371,87	58	1,1
3AS	50X103,5	409,12	65	0,9
2P	50X99,5	399,8	69	1,2
4P	49,5X100	398,32	65,1	1,4
1PS	50X99	400,44	53,6	1,7
2PS	49X100	409,78	58,4	1,1
3PS	50X100,5	401,35	57,1	1,5

14 DIAS				
CORPO DE PROVA	MEDIDA	PESO	ULTRASSOM FREQUENCIA 45khz	COMPRESSAO SIMPLES (MPa)
7A	50X100	382,82	49,5	2,6
9A	50X102	389,57	61	1,9
4AS	49X99,5	379,26	49,3	1,3
5AS	50X103	387,3	49,7	1,4
6AS	50X100	378,1	49,8	0,9
7P	48,5X100	376,05	60,8	1,6
9P	50X99	381,25	57,5	2
4PS	50X101	418,7	44,5	2,3
5ps	49X102	414,22	45,1	2,3
6PS	50X102	410,98	46,1	1,9

28 DIAS				
CORPO DE PROVA	MEDIDA	PESO	ULTRASSOM FREQUENCIA 45khz	COMPRESSAO SIMPLES (MPa)
12A	50x101	350,18	53,5	2,8
14A	50x98,5	356,16	55,7	2,7
7AS	49x98	371,67	'	1,8
8AS	49x99	381,01	47,1	1,8
9AS	50x100	401,54	45,7	1,8
12P	50x99,5	374,52	56,9	2,6
14P	50x100	371,64	58,3	2,9

7PS	49,5x100	390,81	42,8	2,8
8PS	50x101,5	417,38	46,9	2,4
9PS	49x100,5	404,86	45,4	2,1

### ANEXO C – COMPRESSÃO COM MÓDULO DE ELASTICIDADE ABNT 8522

#### 7 DIAS

CORPO DE PROVA	MEDIDA	PESO	ULTRASSOM - FREQUENCIA 45khz	COMPRESSAO COM MODULO DE ELASTICIDADE (MPa)
1A	49,5X99,5	386,25	57,3	1,9
3A	50X99	387,83	54,3	2
5A	49,5X100	398,25	54,4	2,1
1P	50X100	401,09	65,8	1,5
3P	49X100	396,07	67,7	1,5
5P	50X103.7	421,67	71,5	1

#### 14 DIAS

CORPO DE PROVA	MEDIDA	PESO	ULTRASSOM - FREQUENCIA 45khz	COMPRESSAO COM MODULO DE ELASTICIDADE (MPa)
6A	50X103	396,05	56	2,4
8A	49X101	361,16	60,5	1,9
10A	50X102	396,03	49	3,4
6P	49X101	371,94	66,8	1,6
8P	50X99	385,7	60,1	1,9
10P	50X99	386,88	60,5	1,9

#### 28 DIAS

CORPO DE PROVA	MEDIDA	PESO	ULTRASSOM - FREQUENCIA 45khz	COMPRESSAO COM MODULO DE ELASTICIDADE (MPa)
11A	50x100	361,02	56,2	2,7
13A	49,5x99	366,41	47,8	3,8
15A	50x100	362,97	52,1	3
11P	50x99	358	61,8	2
13P	51x99	370,17	58,1	3
15P	49,5x99,5	370,94	60,4	2,7

**ANEXO D – ENSAIO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

<b>CHAPISCO TRAÇO DE 1:3</b>				
<b>PASTILHA (AREIA)</b>	<b>Kgf/cm<sup>2</sup></b>		<b>PASTILHA (PÓ)</b>	<b>Kgf/cm<sup>2</sup></b>
1A	0.114		10P	0.192
2A	0.115		11P	0.240
3A	0.110		12P	0.285

<b>CHAPISCO TRAÇO DE 1:3 + EMBOÇO TRAÇO DE 1:8</b>				
<b>PASTILHA (AREIA)</b>	<b>Kgf/cm<sup>2</sup></b>		<b>PASTILHA (PÓ)</b>	<b>Kgf/cm<sup>2</sup></b>
4A	0.652		13P	0.612
5A	0.533		14P	0.624
6A	0.591		15P	0.642

<b>CHAPISCO TRAÇO DE 1:3 + EMBOÇO TRAÇO DE 1:8 + REBOCO TRAÇO DE 1:5</b>				
<b>PASTILHA (AREIA)</b>	<b>Kgf/cm<sup>2</sup></b>		<b>PASTILHA (PÓ)</b>	<b>Kgf/cm<sup>2</sup></b>
7A	0.581		16P	0.634
8A	0.680		17P	0.712
9A	0.693		18P	0.629











