

# ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO NATURAL POR AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Ana Carolina Badke Casotti<sup>1</sup>,  
Mirella Gonçalves da Fonseca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Multivix Vitória.

<sup>2</sup>Engenheira Civil, docente do Centro Universitário Multivix Vitória.

## RESUMO

Apesar da significativa relevância do setor da construção civil para o Brasil, sua atividade é associada a elevados índices de perdas e desperdícios, instigando a busca por práticas sustentáveis que promovam impactos positivos nos âmbitos social, econômico e ambiental. O presente estudo avaliou a substituição parcial do agregado natural por agregado reciclado, proveniente de resíduos de construção e demolição (RCD), em argamassas de revestimento. Três diferentes misturas foram produzidas utilizando a proporção de 1:8:2 (cimento, agregado e cal): a Referência (com apenas areia fina), o Teste 1 (com substituição de 25% da areia fina por agregado reciclado) e o Teste 2 (com substituição de 50% da areia fina por agregado reciclado). Para a avaliação da influência dessas substituições, ensaios foram realizados tanto no estado fresco e endurecido, como o ensaio de consistência e o ensaio de resistência à compressão axial, respectivamente. Também realizou-se análises de aderência e deresistência ao risco. Em relação à resistência à compressão, após 28 dias de cura, o Teste 1 apresentou um aumento de 23,9%, enquanto o Teste 2 registrou um incremento de 23,6% em comparação à Referência. Constatou-se que houve um aumento geral na resistência à compressão das argamassas com a substituição parcial de agregados naturais por reciclados, além de uma maior resistência ao risco, porém, houve uma diminuição na aderência da argamassa ao porcelanato.

## PALAVRAS-CHAVE

Construção Civil; Resíduo; Argamassa; Agregado.

## ABSTRACT

Despite the significant relevance of the construction industry in Brazil, its activities are associated with high rates of losses and waste, prompting the search for sustainable practices that promote positive impacts in social, economic, and environmental spheres. This study evaluated the partial replacement of natural aggregate with recycled aggregate, derived from construction and demolition waste (CDW), in rendering mortars. Three different mixtures were produced using the 1:8:2 ratio (cement, aggregate, and lime): the Reference (with only fine sand), Test 1 (with a 25% replacement of fine sand by recycled aggregate), and Test 2 (with a 50% replacement of fine sand by recycled aggregate). To assess the influence of these substitutions, tests were conducted on both fresh and hardened states, such as the consistency test and the axial compressive strength test, respectively. Adhesion and scratch resistance tests were also performed. Regarding compressive strength, after 28 days of curing, Test 1 showed a 23.9% increase, while Test 2 recorded a 23.6% increase compared to the Reference. It was found that there was a general increase in compressive strength in the mortars with the partial replacement of natural aggregates by recycled ones, as well as higher scratch resistance; however, there was a decrease in the mortar's adhesion to porcelain tiles.

## KEYWORDS

Construction industry; Waste; Mortar; Aggregate.

## INTRODUÇÃO

Na última década, a construção civil apresentou grande crescimento no mercado,

impulsionado pela ampliação da concorrência e competitividade, as organizações do setor foram forçadas a sobrepor margens de lucro cada vez menores para manterem o preço final. Associado a este fator deparam-se com um cenário atual de clientes, cada vez mais exigentes, atentos à qualidade, custos, bem como ao despertar da consciência sustentável, impulsionando o setor produtivo a buscar cada vez mais, opções que reduzam os choques ambientais em seus processos (TRENTIN et al., 2020).

Nesse sentido, se ressalta que, a indústria da Construção Civil é de extrema relevância para o Brasil e um indicativo de crescimento socioeconômico. O setor, em 2022, representou cerca de 3,2% do PIB nacional, adicionalmente, foi responsável por cerca de 10% do total das oportunidades de emprego geradas no ano (CBIC, 2023).

Logo, o referido setor exerce uma função econômica e social essencial para o país. No entanto, vivencia um paradoxo, haja vista que no âmbito do meio ambiente, é comumente denominado como um grande vilão. Esse cenário impacta na cadeia de produção da construção civil, inclusive na escassez de controle consistente nos canteiros de obra, que geralmente produzem altos índices de perdas e desperdícios, resultando em significativa quantidade de resíduos, consequentemente sobrecarregam o descarte aumentando os custos de gerenciamento (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020)

Conforme o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2022, os municípios brasileiros recolheram mais de 48 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), refletindo um aumento de 2,9% em relação ao ano anterior. A média de coleta por habitante foi de aproximadamente 227 kg por ano, sendo em grande parte composta por resíduos de construção e demolição descartados em vias e outros locais públicos (ABRELPE, 2022)

Conforme apontado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), ainda que os resíduos gerados no setor da construção sejam considerados de baixa periculosidade, eles representam um grave problema em muitas cidades brasileiras e sobrecarregam os sistemas de limpeza pública dos municípios. Tais resíduos representam um valor de 50% a 70% de todo o volume de resíduos sólidos gerados, a depender do município.

Para um controle mais eficaz desse cenário desafiador, foi promulgada a Resolução de nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, com a finalidade de

disponibilizar, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, normatizando as ações necessárias de modo a minimizar os enfrentamentos ambientais (CONAMA, 2002). A referida resolução sofreu alteração com a Resolução nº 348/2004, que limita os lugares de descarte dos RCD, e destaca que não poderão ser dispostos em áreas amparadas pela legislação, em locais de aterros urbanos, entre outros. Diante de um novo cenário, evidencia-se a necessidade de reduzir, reciclar e reutilizar esses resíduos gerados pelo setor da construção civil (CONAMA, 2004).

Desta forma, torna-se relevante adquirir competências e táticas para conciliar a escassez de insumos naturais, a preservação do meio ambiente, a destinação de resíduos e a sua reutilização em outros materiais, por meio de programas de gestão e controle do reuso de recursos materiais nos processos construtivos, de maneira sustentável (KNOB; BELLEI; BARBISAN, 2019).

O presente estudo, teve como objetivo avaliar os efeitos resultantes da substituição parcial do agregado natural pelo agregado reciclado em argamassas de revestimento, visando avaliar sua resistência (ensaio de compressão axial) quando comparado com argamassas convencionais. Além disso, foi realizada a caracterização do agregado e a discussão de suas características granulométricas, comparando-as com os agregados miúdos naturais.

Também foram investigadas a resistência ao risco (dureza) e a aderência das argamassas produzidas com agregado reciclado em comparação com as convencionais. Por este motivo, explorou-se conceitos relacionados às variáveis do estudo como agregados reciclados, argamassa de revestimentos, reciclagem e reuso.

Diante do contexto apresentado, este trabalho teve como justificativa o atendimento às diretrizes da Resolução nº 307 da CONAMA e a busca pela sustentabilidade no âmbito social, econômico e ambiental. Destaca-se que a substituição do material agregado na argamassa de revestimento, produto amplamente utilizado na indústria da construção civil, se configura como alternativa para mitigar o impacto gerado pelo setor em questão.

## **1. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1 Agregados**

Os agregados compõem cerca de 70% do volume total dos concretos e argamassas, assumindo, portanto, um papel essencial na determinação do custo desses materiais. Adicionalmente, proporcionam uma redução na retração das misturas formadas por cimento e água, além de aumentarem a resistência ao desgaste superficial de argamassas e concretos (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2002).

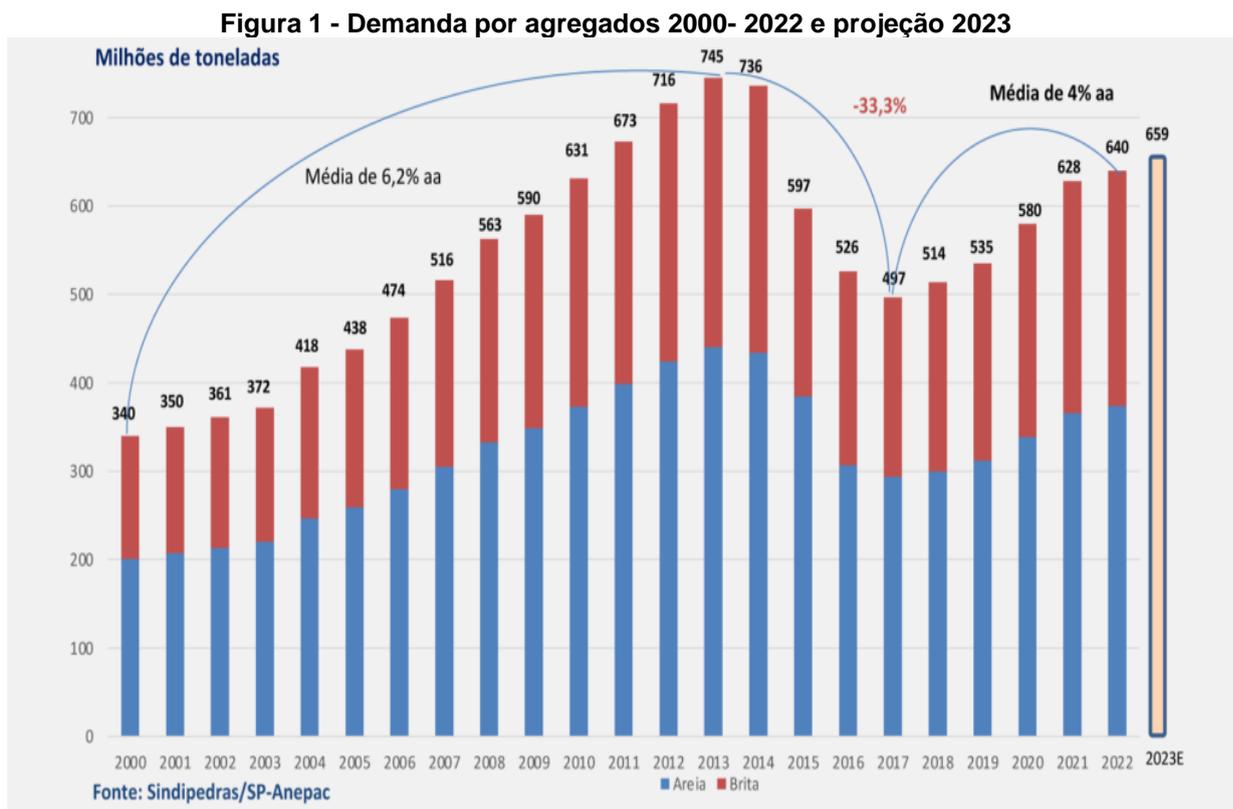
Os agregados desempenham um papel fundamental na sociedade como matérias-primas minerais, eles são materiais granulares com tamanhos definidos e são amplamente empregados em pavimentação, lastros de ferrovias, projetos geotécnicos, concretos, argamassas e diversas construções (BAUER, L. A F., 2019). No contexto internacional, nos livros clássicos sobre materiais de construção, os agregados são geralmente vistos como um recurso praticamente inesgotável, embora não sejam renováveis por natureza. No entanto, em várias regiões ao redor do mundo, o esgotamento de depósitos de agregados é uma realidade observada em alguns locais (BAUER, L. A F., 2019).

A categorização desses materiais é feita com base na granulometria, origem e massa. Quanto à granulometria, eles são divididos em miúdos (areia e pó de pedra) e graúdos (brita e seixo rolado), de acordo com o tamanho. Tratando-se da origem, podem ser naturais (provenientes de fontes naturais, como areias e seixos) ou artificiais (produzidos por processos industriais, como a argila expandida). Quanto à massa, os agregados podem ser leves (baixa densidade), normais (britas, seixos e areias) ou pesados (alta densidade) (LISBOA, Ederval S.; ALVES, Edir S.; MELO, Gustavo H. A G, 2017). Vale ressaltar, que os agregados graúdos possuem dimensões entre 4,75 a 75 mm, já os agregados miúdos possuem dimensões de 0,075 a 4,75 mm (BAUER, L. A F., 2019).

A granulometria desempenha um papel crucial na produção de materiais cimentícios. De acordo com Angelim et al. (2003), a distribuição granulométrica da areia, por exemplo, impacta a trabalhabilidade e o consumo de aglomerantes e água na argamassa. Somado a isso, no revestimento final, afeta características como fissuração, resistência de aderência, entre outros aspectos, contribuindo para o

desempenho global.

Segundo informações da ANEPAC (2022), no Brasil, a demanda por agregados totalizou 640 milhões de toneladas em 2022, destes, 374 milhões de toneladas eram de areia e 266 milhões de toneladas eram de brita. Prevê-se um aumento de 3% para 2023. O gráfico apresentado na Figura 1 ilustra a evolução da demanda ao longo dos anos:



Fonte: Site ANEPAC (2022)

Bauer, 2019 afirma que a maior parcela da produção de areia é utilizada na fabricação de argamassas e concretos. Dado que a produção de areia e brita é muito semelhante, pode-se estimar que cerca de dois terços da produção se destinam a materiais cimentícios, enquanto um terço é direcionado para a pavimentação.

Pela definição da NBR 9935 (ABNT, 2011), a areia é um agregado miúdo que tem origem em processos de desintegração de rochas, seja de forma natural ou artificial, e também pode ser produzida em processos industriais. Ela é categorizada como areia natural quando é o resultado da ação de agentes da natureza, areia artificial quando é produzida por processos industriais, areia reciclada quando é obtida por meio de processos de reciclagem e areia de britagem quando é originada da cominuição mecânica de rochas.

## 1.2 Agregados Reciclados

Até recentemente, a produção geralmente usava matérias-primas não renováveis de origem natural sem problemas devido à abundância de recursos naturais, falta de consciência sobre a sustentabilidade e menos pessoas envolvidas na sociedade de consumo. No entanto, a composição dos resíduos varia de acordo com o tipo de obra, a técnica de construção, a fase do processo construtivo e as características socioeconômicas da região. (TRENTIN et al., 2020).

De acordo com Lima et al. (2023) em atividades que visam o reuso ou a reciclagem, a propriedade dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) torna-se fundamental. Tratando-se da composição de Ludovino, Silva e Sousa (2019), ressalta-se que a composição média dos resíduos produzidos no canteiro de obra, é de cerca de 64% de argamassa, cerca de 30% de componentes de vedação (telhas, blocos...), além de 6% de materiais diversos, como concreto, pedra, areia, entre outros.

Mediante os problemas gerados, observa-se que atualmente, um instrumento relevante utilizado, visando minimizar o problema dos resíduos sólidos na construção civil é a criação de programas de gestão de resíduo para alcançar o objetivo das disposições da Resolução 307 (CONAMA, 2002), que estabelece, para a construção civil, quatro classes de resíduos, que deverão ter tratamentos distintos, apresentadas no Quadro 1, a seguir:

**Quadro 1: Classes de Resíduos da Construção Civil**

Tipo de RCC	Definição	Exemplos	Destinações
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	a) Resíduos de construção, demolição, reformas e pavimentação, incluindo solos de terraplanagem; b) Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações (blocos, argamassa e concreto); c) Resíduos de peças pré-moldadas em concreto do canteiro de obras (blocos, tubos, meios-fios...)	Devem ser reutilizados, reciclados ou dispostos em aterros de resíduos de construção
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, metais, papelão, vidros, madeiras	Devem ser reaproveitados, reciclados ou direcionados para locais de armazenamento temporário, com disposição que permita seu uso futuro ou reciclagem
Classe C	Resíduos sem soluções tecnológicas ou econômicas que permitam sua reciclagem	Produtos provenientes do gesso	Deverão ser armazenados, transportados e destinados de acordo com as normas técnicas

Classe D	Resíduos perigosos gerados em processos construtivos ou aqueles contaminados provenientes de reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais etc.	Tintas, solventes, óleos	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados de acordo com regulamentos técnicos específicos
----------	--	--------------------------	---

Fonte: Adaptado de Cruz e Diniz (2021, p. 4).

Essa classificação possibilita um manejo adequado dos resíduos e promove seu uso como material alternativo na construção civil. Além disso, proíbe sua disposição em aterros de resíduos domésticos ou em áreas abandonadas, com a gestão atribuída à administração municipal, conforme a Resolução 307/2002 do CONAMA (CRUZ, DINIZ, 2021).

A produção de agregados reciclados, mais econômica em relação aos agregados naturais, é uma nova alternativa sustentável para aproveitar resíduos na construção civil, que geram excelentes propriedades e estabelece uma relação entre custo, consumo e sustentabilidade (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020). A ampliação do setor da indústria e as novas tecnologias levaram a problemas de resíduos nos canteiros de obras, que acumulam entulhos, como restos de argamassa, concreto, materiais cerâmicos, materiais metálicos, madeira, vidro e materiais plásticos, destacando a necessidade de sustentabilidade e redução de resíduos na construção civil (SOUSA, 2020).

Essencialmente, argamassas, concretos e materiais cerâmicos, são encontrados em maior volume, e sua utilização como agregados para confecção de blocos de concreto e argamassa de revestimentos, está sendo estudada como uma forma de conter a problemática abordada. Faz-se desta forma o reaproveitamento, reciclando esses resíduos que são comumente encontrados nas obras (SOUSA, 2020).

A construção civil tem se aproximado do conceito de desenvolvimento sustentável, promovendo mudanças na gestão de recursos, investimentos, inovações tecnológicas e institucionais, com uma perspectiva sistêmica (SOUSA, 2020). A utilização de agregados reciclados e a reutilização de materiais oriundos de sobras na construção, cumpre as diretrizes da Agenda 21, o que contribui para a transformação de resíduos em novos materiais e reduz a extração de recursos do meio ambiente (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020; STREB; GAUER, 2022).

Ao refletir sobre a abordagem proposta, verifica-se que a incorporação de agregados miúdos reciclados na produção de argamassa de revestimento tem sido foco de debates em estudos recentes. Em concordância com as pesquisas citadas anteriormente e na pesquisa realizada para a 5ª edição do ABM WEEK em 2019, o uso parcial de agregado reciclado como substituto do agregado miúdo natural parece ser uma alternativa sustentável viável, com evidências de melhoria no desempenho das argamassas produzidas (MACEDO et al., 2019).

O estudo de Cruz e Diniz (2021) verificou que a adição de agregados reciclados à argamassa de revestimento atendeu aos padrões mínimos das normativas nacionais. As porcentagens mais comuns de agregados reciclados nos estudos foram 10%, 20%, 25% e 50%.

De acordo com Andrade et al. (2022), o uso de agregados reciclados, com até 50% de substituição, demonstrou resultados satisfatórios em várias propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Além disso, Fabris et al. (2018) constatou que em seu estudo com ensaios de 25% e 50% de agregados reciclados alcançaram conclusões positivas em relação às propriedades da argamassa, especialmente na resistência à compressão, com resultados similares ou superiores aos da argamassa convencional.

### **1.3 Argamassas de Revestimentos**

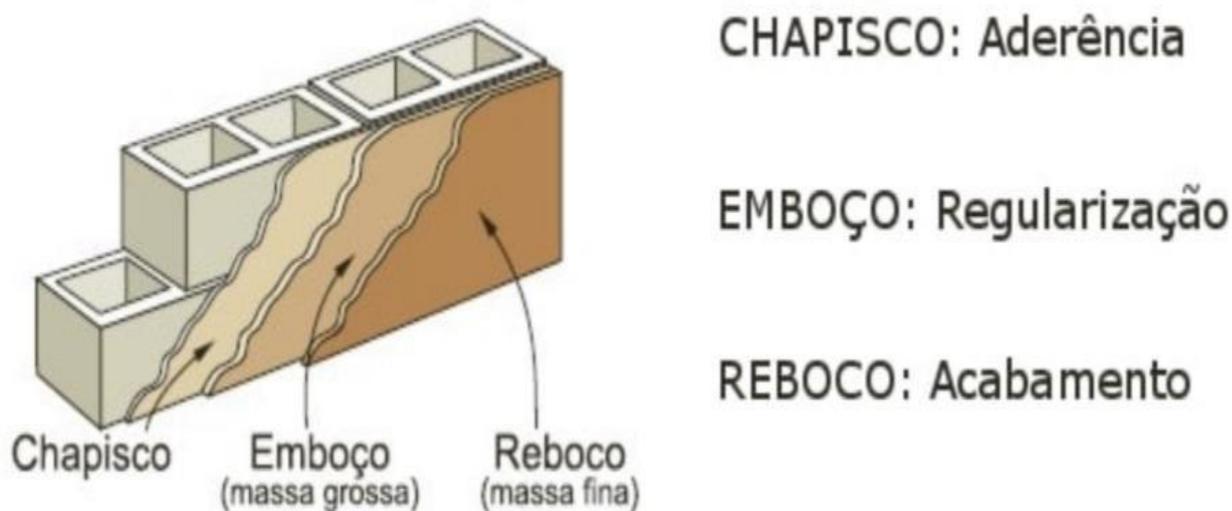
No que diz respeito a argamassa de revestimento, sua definição é estabelecida pelas disposições da NBR 13529 (ABNT, 2013), trata-se de material composto por cimento (aglomerante inorgânico), água e certa quantidade de agregado miúdo, que forma uma mistura homogênea. Esses elementos compõem materiais de diversas características e apresentam trabalhabilidade, consistência, aderência e outros atributos importantes.

A argamassa de revestimento é versátil e serve para diversas aplicações, como o chapisco, usado como base de preparo para outras camadas e proporciona melhorias na aderência. Ela proporciona vedação e regularização das camadas e, desta forma, propicia uma maior aderência na superfície, devido suas especificidades que reduzem a infiltração, entre outros benefícios e funções (CRUZ, DINIZ, 2021).

Para regularizar a superfície, utiliza-se o emboço, que deve ter consistência média de 15mm a 25mm e prepara a superfície para receber outras camadas como o porcelanato ou o reboco, e além disso contribui para a vedação. Quanto ao reboco,

consiste em uma camada fina de no máximo 5 mm, cuja finalidade é acobertar o emboço e receber revestimentos decorativos, como a pintura (LIMA et al., 2023). Na Figura 2 é possível observar a aplicação dessas camadas:

**Figura 2 - Camadas de revestimento de argamassa e suas funções**



Fonte: Site Escola Engenharia (2019)

Portanto, as finalidades essenciais da argamassa de revestimento estão relacionadas à função de proteger a alvenaria, abrangendo características como a vedação, o isolamento térmico e outras propriedades fundamentais para a sua aplicação adequada, incluindo trabalhabilidade, adesão inicial e permeabilidade (CRUZ, DINIZ, 2021).

A trabalhabilidade é uma propriedade fundamental no estado fresco da argamassa, que garante a qualidade da aplicação, regularidade e adesão à base, bem como a ligação entre seus elementos. O nível de consistência é um indicador da trabalhabilidade, relacionado à viscosidade e elasticidade de fluidez do material. Tal avaliação permite delimitar a quantidade de água a ser acrescida, para alcançar escoamento desejado e obter argamassas frescas (CAPELIN et al., 2020).

As argamassas podem apresentar tipificações como: ser de cal, cimento ou misto, dependendo do material ligante que será usado. Ressalta-se que as argamassas direcionam-se para: “Assentamento Estrutural; Assentamento Convencional; Assentamento de Acabamentos”. Somado a isso, as funções de sua utilização centram-se em: “Suportar esforços mecânicos, unir blocos da alvenaria, fazer a vedação das juntas; Unir os blocos da alvenaria e vedar juntas; Unir elementos

de acabamento ao substrato” (KNOB; BELLEI; BARBISAN, 2019, p. 118).

O desempenho e as propriedades das argamassas de revestimento em condição fresca são impactados de maneira direta pela quantidade de água, pela granulometria e forma dos fragmentos usados na mistura (LIMA et al., 2023). Um aspecto importante, é que a qualidade dos revestimentos de argamassa depende das propriedades da argamassa, tanto no estado fresco quanto endurecido. O correto ajuste das características da argamassa no estado fresco é essencial para que o revestimento exerça suas funções quando endurecido (CAPELIN et al., 2020).

A trabalhabilidade da argamassa no estado fresco é essencial e depende de consistência e plasticidade. Compreender o desempenho das argamassas é crucial, uma vez que as imperfeições ocasionam a perda de seus atributos (CAPELIN et al., 2020). Por sua vez, Knob et al., 2019 afirma que no estado fresco, as argamassas exibem diversas propriedades, como trabalhabilidade, retenção de água, aderência inicial e retração na secagem.

Já no estado endurecido, destacam-se propriedades como aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, permeabilidade e durabilidade. As propriedades da argamassa refletem o desempenho do recobrimento, mediante tal resultado pode-se avaliar de forma mais significativa as aplicações que exigem maior atenção.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Obtenção do Agregado**

O agregado utilizado como material de pesquisa do presente trabalho foi doado pela AB Soluções Ambientais. Essa empresa está localizada no Espírito Santo e é uma instalação dedicada à reciclagem, triagem e melhoria dos resíduos provenientes da construção e demolição.

Nesse contexto, esses resíduos são triados e processados para separar diversos materiais recicláveis, a fim de reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade na indústria da construção. Para tais processos, é utilizado um maquinário específico, pode-se citar o equipamento móvel de britagem e o equipamento de separação de agregados, mostrado na Figura 3:

**Figura 3 - Equipamento de separação de agregados**



Fonte: A Autora (2023)

A quantidade de agregado reciclado doado pela empresa foi de aproximadamente 25 kg. Na figura 4, pode-se analisar de forma mais detalhada as características desse agregado.

**Figura 4 - Agregado reciclado doado**



Fonte: A Autora (2023)

## **2.2 Análise Granulométrica**

Para a realização da pesquisa de substituição parcial, as características granulométricas do agregado reciclado precisavam assemelhar-se às da areia fina comprada em uma loja de materiais de construção em Vitória, Espírito Santo. Desta forma, a fim de analisar a granulometria do resíduo reciclado doado, procedeu-se com o peneiramento de aproximadamente 5 kg da amostra, de acordo com a norma NBR

NM 248 da ABNT, de 2003.

A NBR NM 248 (ABNT, 2003), conceitua a série de peneiras normais e intermediárias como “conjunto de peneiras sucessivas caracterizadas pela abertura da malha”, como é mostrado na Tabela 1, a seguir:

**Tabela 1 - Série de peneiras**

<i>Série Normal</i>	75 mm	–	–	37,5 mm	–	–	19 mm	–	9,5 mm	–	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 µm	300 µm	150 µm
<i>Série Intermediária</i>	–	63 mm	50 mm	–	31,5 mm	25 mm	–	12,5 Mm	–	6,3 mm	–	–	–	–	–	–

Fonte: Adaptado de NBR NM 248 (ABNT, 2003, p.2)

Neste contexto, duas frações principais desempenharam um papel crucial: A primeira fração, de agregado graúdo, composta por partículas com diâmetro igual ou superior a 4,75 mm, e a fração de agregado miúdo, composta por partículas com diâmetro inferior a 4,75 mm. A segunda fração, de interesse para ser utilizada em substituição da areia, é particularmente relevante devido à influência significativa que a composição granulométrica do agregado exerce sobre as propriedades futuras das argamassas.

### 2.3 Preparação da Argamassa de Revestimento

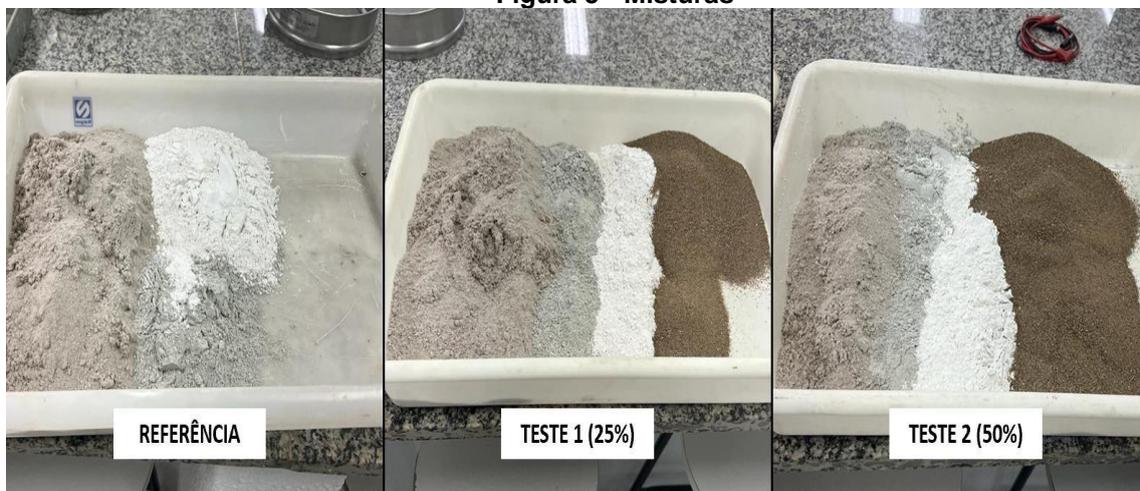
Para a produção de uma argamassa, foram utilizados insumos como a cal hidratada CH III e o cimento CP III 40 RS e a areia fina, adquiridos em uma loja de materiais de construção local. Além disso, a água usada no presente trabalho tem procedência da rede pública de distribuição.

O traço utilizado nesta pesquisa possui a proporção de 1:8:2 (cimento, areia e cal), a quantidade de água nas misturas foi determinada pelo ensaio de consistência da argamassa, feito com a massa fresca. Em concordância com a ABNT NBR 13276, de 2016 recomenda-se adotar a água necessária para o índice de consistência de  $260 \pm 5$  mm.

Com o propósito de avaliar o impacto do agregado reciclado nas características das argamassas de revestimento, foram empregadas três diferentes misturas (Figura 5): a Referência, sendo a mistura tradicional (sem substituição), o Teste 1 no qual 25% da areia fina (agregado natural) foi substituída pelo agregado reciclado, e por fim o

Teste 3, no qual 50% da areia fina (agregado natural) foi substituída pelo agregado reciclado.

**Figura 5 - Misturas**



Fonte: A Autora (2023)

### 3. ENSAIOS

#### 3.1 Ensaio de Consistência

O ensaio de determinação do índice de consistência foi realizado seguindo todos os passos de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Verificou-se o quanto a argamassa se espalhou, medindo três diâmetros com o paquímetro e realizando a média destas três medidas, a fim de verificar se o índice de consistência obtido se encaixa nas determinações normativas. Na Figura 6, pode-se observar a realização do ensaio de consistência realizado em laboratório:

**Figura 6 - Ensaio de Consistência**



Fonte: A Autora (2023)

### 3.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Em concordância com as normas estipuladas pela ABNT NBR 13279 de 2005, procedeu-se à ruptura de 3 corpos de prova para cada mistura (referência, teste 1 e teste 2). Os ensaios foram conduzidos 14 e 28 dias após a confecção dos moldes. O desmolde aconteceu após 24 horas da confecção, assim, os corpos de prova foram submersos em água, onde permaneceram em processo de cura até a data dos ensaios.

O ensaio de compressão axial foi realizado em uma prensa hidráulica manual, demonstrada na Figura 7, na qual a carga é aplicada manualmente através de um injetor, utilizando-se de transdutor de pressão. Além disso, um indicador digital é usado para medir a carga resultante em tf (tonelada-força).

Figura 7 - Prensa Hidráulica Manual



Fonte: A Autora (2023)

### 4. ANÁLISE DA ADERÊNCIA

Após o período de cura de 28 dias, realizou-se uma análise visual da aderência de revestimento cerâmico aplicado sobre a argamassa no estado fresco, ou seja, foi examinada a capacidade da argamassa em manter esse revestimento adequadamente aderido. Adicionalmente, procedeu-se com uma análise do

comportamento da argamassa em relação à resistência a riscos ou danos superficiais.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise Granulométrica

A granulometria dos agregados reciclados pode variar de acordo com os materiais de construção presentes nos resíduos reciclados e com o processo de reciclagem utilizado. Tais agregados podem conter uma ampla variedade de tamanhos de partículas devido à natureza heterogênea dos resíduos de construção, o que contrasta com agregados naturais, que geralmente têm uma granulometria mais uniforme.

As diferenças na granulometria dos agregados reciclados podem influenciar as propriedades dos materiais em que são utilizados, como concreto e argamassa. Portanto, é fundamental realizar ensaios e estudos específicos para entender como a granulometria dos agregados reciclados pode afetar o desempenho e as características finais dos produtos de construção. Para uma melhor análise da granulometria, foi feito o peneiramento e obteve-se o resultado mostrado (Figura 8):

**Figura 8 - Série de peneiras (agregado miúdo reciclado)**



Fonte: A Autora (2023)

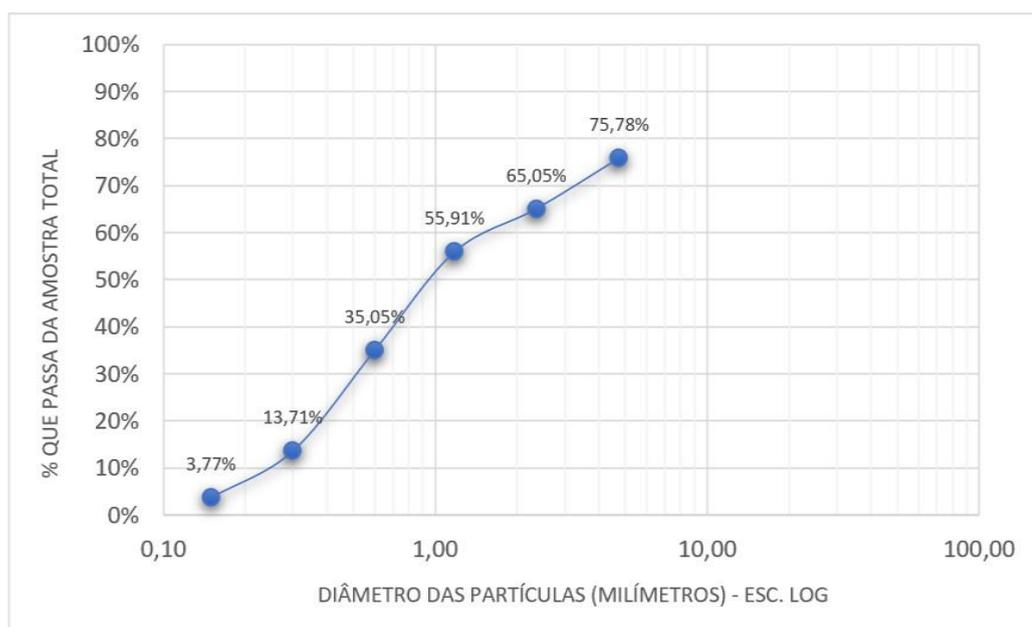
Nesse contexto, observa-se na Tabela 2, a quantidade de amostra retida em cada peneira do conjunto que caracteriza o agregado miúdo, que é de interesse para ser usada em substituição à areia fina e calculou-se a porcentagem que passa, a fim de fazer a curva granulométrica (Gráfico 1) do agregado a ser utilizado.

**Tabela 2: Amostra Retida**

AMOSTRA				
Abertura das peneiras (mm)	Massa Retida(g)	Média Retida(%)	Média Retida Acumulada (%)	% que passa da amostra total
4,75	1196	24,22%	24,22%	75,78%
2,36	530	10,73%	34,95%	65,05%
1,18	451	9,13%	44,09%	55,91%
0,6	1030	20,86%	64,95%	35,05%
0,3	1054	21,34%	86,29%	13,71%
0,15	491	9,94%	96,23%	3,77%
Fundo	186	3,77%	100,00%	0,00%
<b>Total</b>	<b>4938</b>	<b>100%</b>	-	-
Módulo de Finura (MF)			3,51%	

Fonte: A Autora (2023)

**Gráfico 1: Curva Granulométrica (agregado reciclado)**



Fonte: A Autora (2023)

A NBR 6502 (ABNT, 1995), afirma que as areias finas possuem grãos com diâmetros entre 0,06 mm e 0,2 mm. Já de acordo com a ASTM D2487 (2006), as areias finas têm diâmetros entre 0,075 mm e 0,425 mm. Além disso, o módulo de finura (MF) dessas areias situa-se na faixa entre 1,55 e 2,2 (zona utilizável inferior), segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Destaca-se que o MF do agregado reciclado é superior à MF da areia fina, ou seja, indica que o tamanho médio das partículas desse agregado é maior do que o da areia, evidenciando a necessidade de peneiramento.

É possível observar, pelo Gráfico 1, a heterogeneidade da granulometria do agregado reciclado. Após o peneiramento, somente 35,05% de toda amostra ficou retida nas peneiras de abertura 0,3 mm, 0,15 mm e no Fundo, o que confirma a necessidade de peneirar, gerando um acréscimo de trabalho no processo e um baixo rendimento. Além disso, vale ressaltar que a presença de material argiloso no fundo, em excesso, pode afetar a plasticidade e a coesão da mistura.

Por fim, a cor mais escura do agregado reciclado em comparação com a areia sugere a presença de certos elementos ou minerais, como óxidos de ferro, podendo afetar sua reatividade química na argamassa, influenciando a durabilidade do material final e tendo impacto estético, principalmente em em aplicações onde a cor é relevante.

## 5.2 Ensaio de Consistência

A consistência influencia diversas características importantes da argamassa. Por meio dela é possível avaliar, por exemplo, a quantidade de água requerida para atingir a trabalhabilidade desejada, ou seja, uma argamassa com a consistência adequada é mais fácil de ser manuseada, espalhada e aplicada.

**Tabela 3: Índice de Consistência (mm)**

<b>Diâmetros</b>	<b>Referência</b>	<b>Teste 1</b>	<b>Teste 2</b>
<i>Diâmetro 1</i>	272	266	254
<i>Diâmetro 2</i>	251	254	255
<i>Diâmetro 3</i>	271	268	256
<i>Média</i>	<i>264,67</i>	<i>262,67</i>	<i>255</i>

Fonte: A Autora (2023)

No ensaio demonstrado na Tabela 3, utilizou-se a quantidade de água de forma que a resultante média do índice de consistência ficasse de acordo com os padrões da ABNT NBR 13276, de 2016, que varia em torno de  $260 \pm 5$  mm.

Para que as pastas frescas atingissem a consistência de acordo com as normas, utilizou-se aproximadamente 620 ml de água na Referência e 700 ml de água nos Testes 1 e 2. A variação na quantidade de água entre as misturas pode ser devido às propriedades absorventes dos agregados reciclados. Esses materiais podem demandar mais água para atingir a consistência desejada, diferente das misturas apenas com areia fina.

### 5.3 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

O ensaio de resistência à compressão axial em argamassas avalia a capacidade de suportar cargas que tendem a diminuir seu volume. Esse teste é fundamental para avaliar as propriedades mecânicas da argamassa, fornecendo informações sobre sua resistência estrutural e adequação para diversas aplicações, entre elas, os revestimentos.

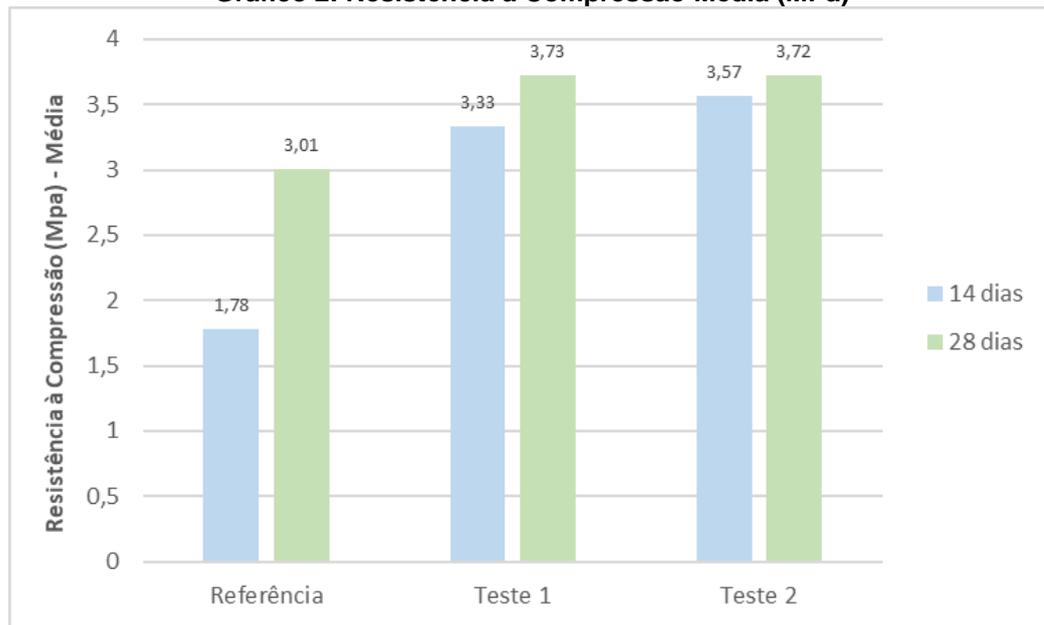
De acordo com a ASTM C270 (2007), as argamassas que possuem cal em sua composição, devem apresentar uma resistência média à compressão maior que 2,40 MPa após 28 dias de cura, sendo este o valor de referência esperado.

**Tabela 4: Resistência à Compressão Média (MPa)**

Mistura	14 dias	28 dias
<i>Referência</i>	1,78	3,01
<i>Teste 1</i>	3,33	3,73
<i>Teste 2</i>	3,57	3,72

Fonte: A Autora (2023)

**Gráfico 2: Resistência à Compressão Média (MPa)**



Fonte: A Autora (2023)

De acordo com o ensaio de resistência à compressão realizado (Tabela 4 e Gráfico 2), foi possível observar que a substituição parcial do agregado natural pelo reciclado proporcionou um acréscimo na resistência à compressão das argamassas.

Aos 14 dias, o Teste 1 mostrou um aumento de 87% na resistência em relação à mistura de referência, enquanto o Teste 2 registrou um aumento de 100,5% em comparação à Referência e 7,2% a mais que o Teste 1. Após 28 dias, o Teste 1 e o Teste 2 tiveram um incremento de 23,9% e 23,6%, respectivamente, em relação à Referência. Comparativamente, o Teste 2 e o Teste 1 demonstraram resultados semelhantes, com uma diferença de aproximadamente 0,27% entre eles.

Vale ressaltar que houve um aumento de resistência significativo na mistura de Referência entre o ensaio realizado após 14 dias e o ensaio realizado após 28 dias, com média de resistência à compressão de 1,78 e 3,01 MPa, respectivamente (uma diferença de 69,1%). Aos 14 dias, a mistura estava abaixo do valor de referência esperado, mas após a cura de 28 dias a resistência ficou superior a 2,4 MPa, atendendo a normatização.

Observa-se que após os 28 dias de cura, todas as misturas atingiram a meta de resistência à compressão esperada, além do mais, verificou-se que ao substituir parte da areia pelo agregado reciclado, a resistência à compressão aumentou. Esse aumento, porém, não segue uma relação linear com a quantidade de agregado reciclado adicionada às argamassas.

#### 5.4 Análise da Aderência

O teste de aderência realizado foi baseado em uma análise empírica e visual de cada mistura de argamassa após 28 dias de cura, como mostrado na figura 9.

No teste inicial, um fragmento de revestimento cerâmico foi removido de cada mistura de argamassa para avaliar sua aderência. Na análise realizada, constatou-se que a mistura de referência (sem substituição) obteve a melhor aderência, ou seja, mantendo mais firme o pedaço de porcelanato, seguida pelo Teste 1 (com 25% de agregado reciclado) e pelo Teste 2 (com 50% de agregado reciclado).

Por fim, analisou-se a resistência ao risco de cada uma das misturas, o que está relacionado à dureza dessas argamassas. Constatou-se, facilmente, que o Teste 2 foi o mais resistente ao risco, seguido pelo Teste 1 e pela Referência.

**Figura 9: Argamassas no estado endurecido**



Fonte: A Autora (2023)

Uma das hipóteses para explicar o aumento da resistência ao risco na mistura contendo 50% de agregado reciclado em comparação com as outras misturas, é a maior presença de finos, o que pode auxiliar na ligação entre as partículas, melhorando a adesão entre os materiais e, conseqüentemente, aumentando a resistência ao risco. Há ainda a possível presença de materiais argilosos o que pode contribuir para uma melhor aderência entre as partículas, aumentando a coesão e, portanto, a resistência ao risco.

Por outro lado, na argamassa com maior teor de agregado reciclado, apesar da maior resistência ao risco observada, a presença de uma quantidade substancial desses agregados poderia influenciar negativamente na aderência ao porcelanato. A composição dos agregados reciclados, como a presença de finos, variações granulométricas ou impurezas, pode afetar a coesão entre os materiais, comprometendo a aderência do porcelanato à argamassa.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria da construção civil no Brasil é crucial para o crescimento econômico do país, representando uma parcela significativa do PIB e sendo uma importante fonte de emprego. Contudo, essa relevância econômica contrasta com os desafios ambientais enfrentados pelo setor, especialmente no que diz respeito à geração e gerenciamento de RCDs.

Ao examinar as propriedades dos agregados reciclados em contraste com os naturais, observou-se uma considerável heterogeneidade na granulometria dos agregados reciclados. Esta variação exige um processo de peneiramento adicional, cenário que evidencia um acréscimo de trabalho e uma diminuição no rendimento do processo. Além disso, observou-se que a consistência das argamassas com agregados reciclados pode demandar uma quantidade de água diferente daquelas com agregados naturais para alcançar a trabalhabilidade adequada.

Observou-se um aumento geral na resistência das argamassas com a substituição parcial de agregados naturais por reciclados, em relação à resistência à compressão. No entanto, essa relação não se mostrou linear em relação à quantidade de agregado reciclado adicionado. Quanto aos testes de aderência, embora as argamassas com maiores proporções de agregado reciclado mostraram uma maior resistência ao risco, houve uma diminuição na aderência da argamassa ao porcelanato, possivelmente afetada por variações na composição dos agregados reciclados.

Nesse contexto, reforça-se a relevância da busca por alternativas sustentáveis na construção civil e recomenda-se, para futuros estudos, investigações mais aprofundadas sobre a aderência das argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados. Outro ponto proveitoso seria a avaliação de desempenho dessas argamassas em longos períodos de utilização.

## 7. REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2022**. São Paulo/SP, Abrelpe, dez. 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C-270: **Standard specification for mortar for unit masonry**. United States, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 2487: **Standard**

**Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).** United States, 2006.

ANDRADE, Patrícia dos Santos; SOUZA, Juliane Santos; SCRAVELA, Ingrid Souza Silva; SILVA, Maghil Moreira. **Propriedades de Argamassas Produzidas com Resíduo de Construção e Demolição.** Revista FATEC de Tecnologia e Ciências. Bahia, 2022.

ANGELIM, Renato R.; ANGELIM, Susane C. M.; CARASEK Helena. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. **Influência da Distribuição Granulométrica da Areia no Comportamento das Argamassas de Revestimento.** São Paulo, 11 a 13 junho de 2003.

ANEPAC. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **Mercado.** Disponível em: <https://anepac.org.br/mercado/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502:** Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935:** Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529:** Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, L. A F. **Materiais de Construção - Vol. 1.** Grupo GEN, 2019. E-book. ISBN 9788521636632. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/>. Acesso em: 29 out. 2023.

CAPELIN, L. J., MORAES, K. K., ZAMPIERI, J. P., & VANDERLEI, R. D.. Avaliação dos efeitos da fibra de coco e da microcelulose cristalina nas propriedades de argamassas cimentícias. **Revista Matéria**, 25(1), e-12551, 2020.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Construção Civil confirma expectativas e cresce forte pelo segundo ano consecutivo.** Informativo Econômico. Inteligência Setorial - CBIC, 02 mar., 2023.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RDC - Resolução Conama no 307, de 5 de julho de 2002**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **RDC - Resolução Conama no 348, de 16 de agosto de 2004**.

Altera RDC 307:2002. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004.

CRUZ, Márcio André Martins; DINIZ, Flávio Eduardo Gomes. **Utilização de argamassa para revestimento de alvenaria com agregados reciclados de resíduos de construção civil**: uma revisão sistemática. Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru: UFPE, 2021.

FABRIS, Adrieli Rosa; SAQUETTO, Marina Tessarolo; FONSECA, Mirella Gonçalves da. **Influência da substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado reciclado em argamassas de revestimento** - estudo de caso em Vitória/ES. Vitória/ES, 2018

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Relatório de Pesquisa. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília/DF, 2012.

KNOB, Gilles Paulo Lunkes; BELLEI, Poliana; BARBISAN, Ailson Oldair. Viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento. **Anais de engenharia Civil**, vol. 3, n. 1, jan. 2019.

LIMA, Karina Paula Barbosa de Andrade; CUNHA, Ana Luíza Xavier; BRITO, Eyshila Paloma Costa; GOMES, Lucas Ítalo Santos [et al.]. Método alternativo para a determinação da consistência em argamassas de revestimento. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, e20512541715, 2023.

LISBOA, Ederval S.; ALVES, Edir S.; MELO, Gustavo H. A G. **Materiais de construção: concreto e argamassa**. Grupo A, 2017.E-book. ISBN 9788595020139. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020139/>. Acesso em: 29 out. 2023.

LUDOVINO, Alysso Carlos; SILVA, Maria Verônica Paula da; SOUSA, Claudemir Máximo de. **Adição de resíduo da construção civil na fabricação de tijolo solo-cimento**. Engenharia Civil. Faculdades Doctum. Caratinga, 2019.

MACEDO, Antonio Márcio de Araújo; ZANELATO, Euzébio Bernabé; MANHÃES, André Luís Flor; AZEVEDO, Afonso Rangel Garcez de; [et al.]. **Influência da incorporação de RCD em argamassas**. Contribuição técnica ao 74º Congresso Anual da ABM – Internacional. Parte integrante da ABM Week São Paulo, de 01 a 03 de outubro de 2019.

PEREIRA, Caio. Qual a diferença entre reboco, emboço e chapisco? **Escola Engenharia**, 2019. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/diferenca-reboco-emboco-e-chapisco/>>. Acesso em: 19 de junho de 2023.

PINZ, FP.; PALIGA, CM; TORRES, A. da S. Estudo da influência do resíduo de cerâmica vermelha, como substituto parcial do ligante ou agregado, em argamassas mistas para revestimento. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.] , v. 9, n. 11, pág. e90191110507, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10507>. Acesso em: 27 mai. 2023.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2 ed. - Belo Horizonte. Editora UFMG. Escola de Engenharia da UFMG, 2002. ISBN: 8570412967 Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=t4b1NY\\_WhjMC&printsec=frontcover&hl=ptBR#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=t4b1NY_WhjMC&printsec=frontcover&hl=ptBR#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 17 nov. 2023.

SOUSA, Gustavo Henrique Mendes de. Reutilização de resíduos da construção e demolição (RCD) como agregado em concreto de cimento Portland. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas. **Repositório**. Varginha/MG: FEPEMIG, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1379>> Acesso em: 01 jun. 2023.

STREB, Felipe Pohl; GAUER, Emanuele Amanda. Efeitos da substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro em argamassa de revestimento. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 14, no. 2, junho/2022.

TRENTIN, Priscila Ongaratto; MANICA, Jocasta; VANZETTO, Suelen Cristina; MARANGONI, Bruno; ZALESKI, Alessandra. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Artigos Matéria**. Rio de Janeiro., 25 (1), 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 27 mai. 2023.