

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS-UFAL
CAMPUS SERTÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JANICLEIA SANTOS SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CASCA DE OVO BRANCO NAS PROPRIEDADES
DE ARGAMASSAS**

DELMIRO GOUVEIA/AL

2022

JANICLEIA SANTOS SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CASCA DE OVO BRANCO NAS PROPRIEDADES
DE ARGAMASSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima

DELMIRO GOUVEIA / AL

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

S586a Silva, Janicleia Santos

Análise da influência da casca de ovo branco nas propriedades de argamassa / Janicleia Santos Silva. - 2022.

81 f. : il.

Orientação: Alexandre Nascimento de Lima,
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2022.

1. Construção civil. 2. Argamassa. 3. Cimento Portland. 4. Casca de ovo. 5. Reaproveitamento de resíduo. 6. Sustentabilidade. I. Lima, Alexandre Nascimento. III. Título.

CDU: 624.012.45:502.131.1

Folha de Aprovação

JANICLEIA SANTOS SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CASCA DE OVO BRANCO NAS PROPRIEDADES DE
ARGAMASSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 24 de outubro de 2022.

Alexandre Nascimento de Lima

Orientador – Prof. Msc. Alexandre Nascimento de Lima, Universidade Federal de Alagoas

Banca examinadora:

Karoline Alves de Melo Moraes

Examinadora Interna – Profa. Dr. Karoline Alves de Melo Moraes, Universidade Federal de Alagoas

Iva Emanuelly Pereira Lima

Examinadora Externa – Msc. Iva Emanuelly Pereira Lima

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, e ao Divino Espírito Santo por me conceder força e sabedoria na superação dos obstáculos desta incrível jornada.

A todos os meus familiares que acreditaram em mim, obrigada pelo apoio e incentivo, extremamente essenciais neste processo, em especial à minha irmã, Maria de Fátima, pelas horas dedicadas a mim.

A meu orientador, professor Alexandre Nascimento de Lima, pela orientação com sabedoria e paciência. Obrigada pelas sugestões, ideias, pela disponibilidade ao longo do trabalho e por não desistir de mim e acreditar no meu potencial para a realização deste trabalho, respeitando e compreendendo o meu momento de trabalho conciliado com a finalização do curso.

Aos professores por compartilharem seus conhecimentos e ensinamentos transmitidos.

A todos os colegas que conquistei nesta universidade, principalmente: Thais Cavalcante, Elielson, Camilla, Luciana, Raniele, Rosineide, por terem proporcionado grandes momentos de felicidade e compartilhado os de tristeza. Aos colegas do laboratório: Saul, Karla Juliana, Allyson Maciel, que contribuíram de forma direta para elaboração deste trabalho.

RESUMO

A indústria da construção civil é um dos setores que causam grande impacto ambiental, pois consome grandes quantidades de recursos naturais e gera volumes consideráveis de resíduos. Por outro lado, a indústria da construção civil tem capacidade de reaproveitar os resíduos gerados tanto por ela quanto por outros setores. Nos últimos anos, diversas pesquisas vêm sendo realizadas buscando inserir resíduos industriais ou não como materiais alternativos a misturas de argamassas e concretos, com o objetivo de reduzir os custos de construção e identificar alternativas sustentáveis para preservar os recursos naturais do planeta. Neste sentido, o resíduo em análise para este trabalho é a casca de ovo, subproduto gerado em grandes quantidades pela indústria alimentar e avícola. Desta forma, o objetivo deste trabalho é verificar a influência da substituição parcial do cimento Portland por pó de resíduo da casca de ovo de galinha, para a produção de argamassa. Para tanto, foi realizada uma análise experimental com 4 argamassas, uma de referência preparada com cimento Portland, água, cal hidratada e areia e outras três argamassas que tiveram cimento Portland substituído por pó de casca de ovo nas porcentagem de: 10%, 20% e 30%, verificando-se sua influência nos ensaios de índice consistência, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e absorção de água por capilaridade, de acordo com a normatização vigente. A pesquisa demonstrou que é inviável a produção de argamassa com substituição parcial do cimento por resíduos de casca de ovo, pois os resultados apresentaram pouca viabilidade técnica, uma vez que a substituição diminuiu de maneira acentuada a resistência mecânica, em relação à argamassa de referência.

Palavras-chave: Argamassa, Casca de Ovo, Cimento Portland, Sustentabilidade

ABSTRACT

The civil construction industry is one of the sectors that cause great environmental impact, as it consumes large amounts of natural resources and generates considerable volumes of waste. On the other hand, the civil construction industry has the capacity to reuse the waste generated both by itself and by other sectors. In recent years, several studies have been carried out seeking to insert industrial or non-industrial waste as alternative materials to mortar and concrete mixtures, with the aim of reducing construction costs and identifying sustainable alternatives to preserve the planet's natural resources. In this sense, the residue under analysis for this work is eggshell, a by-product generated in large quantities by the food and poultry industry. In this way, the objective of this work is to verify the influence of the partial replacement of Portland cement by powder of chicken egg shell residue, for the production of mortar. For this purpose, an experimental analysis was carried out with 4 mortars, one of reference with Portland cement, water, hydrated lime and sand and three other mortars that had Portland cement replaced by eggshell powder in the percentages of: 10%, 20% and 30%, verifying its influence in tests of consistency index, resistance to compression, tensile strength in bending and water absorption by capillarity, in accordance with current regulations. The research showed that the production of mortar with partial replacement of cement by eggshell waste is unfeasible, as the results showed little technical viability, since the replacement significantly decreases the mechanical resistance, in relation to the reference mortar

Keywords: Mortar, Eggshell, Portland Cement, Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 :Esquemática da seção transversal de um ovo de ave.....	45
Figura 2: Desenho esquemático da casca do ovo.....	46
Figura 3: Materiais para a realização de ensaios com argamassa.....	49
Figura 4: Retirada da membrana da casca de ovo.....	50
Figura 5: Secagem do resíduo.....	50
Figura 6: a) Equipamento usado para moagem; b) Casca de ovo após moagem.....	51
Figura 7:Passagem da amostra de areia.....	52
Figura 8: Etapas de mistura e preparo das argamassas.....	53
Figura 9: a) Argamassa recém-preparada e inserida no molde sob a mesa de adensamento; b) Massa na mesa de adensamento após remoção do molde.....	55
Figura 10: Moldagem dos corpos de prova.....	56
Figura 11: Cura de corpos de prova.....	56
Figura 12: a) Máquina usada para ensaio de resistência à tração na flexão à compressão; b) Material para a execução do ensaio.....	57
Figura 13: a) Posicionamento do corpo de prova na máquina; b) Rompimento do corpo de prova por resistência à tração na flexão.....	58
Figura 14: a) Posicionamento do corpo de prova na máquina; b) Rompimento do corpo de prova por resistência à compressão; c) Fragmentos do corpo de prova.....	59
Figura 15: Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resistência à tração na flexão.....	63
Gráfico 2: Resistência à compressão.....	64
Gráfico 3: Absorção de água	66
Gráfico 4: Coeficiente de capilaridade.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice de consistência das argamassas.....	62
Tabela 2: Absorção de água e coeficiente de capilaridade.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de argamassas quanto à função.....	25
Quadro 2: Principais propriedades e requisitos das argamassas relacionadas as suas funções.....	27
Quadro 3: Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a ABNT(ABNT, 2004).....	37
Quadro 4: Classificação dos resíduos da construção civil de acordo com a resolução CONAMA 307.....	39
Quadro 5: Destino dos RCC em função da classe – CONAMA nº 307/2002.....	42
Quadro 6: Materiais utilizados.....	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.2	Objetivo geral	12
1.2.1	Objetivos específicos	12
1.3	Justificativa	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Definição e Contexto Histórico das Argamassas	15
2.2	Materiais Constituintes das Argamassas.....	17
2.2.1	Agregados	17
2.2.2	Água	18
2.2.3	Ligante	19
2.2.3.1	Cal hidratada	19
2.2.3.2	Cimento	20
2.2.4	Adições	20
2.2.4.1	Fíller calcário	21
2.2.4.2	Escória de alto-forno	22
2.2.4.3	Materiais pozolânicos	23
2.3	Funções da Argamassa e Suas Aplicações.....	24
2.4	Propriedades das Argamassas	26
2.4.1	Trabalhabilidade e aspectos reológicos da argamassa	28
2.4.2	Consistência e plasticidade	28
2.4.3	Retenção de água	29
2.4.4	Massa específica e teor de ar incorporado	29
2.4.5	Retração por secagem.....	30
2.4.6	Aderência	30
2.4.7	Capacidade de absorver deformações	31
2.4.8	Resistência mecânica	31
2.4.9	Permeabilidade e durabilidade	32
2.5	A incorporação de Resíduos Sólidos na Construção Civil	32
2.6	Resíduos Sólidos	34

2.6.1	Classificação dos resíduos sólidos.....	36
2.6.2	Reciclagem e reaproveitamento dos resíduos sólidos.....	37
2.6.3	Tratamento e disposição final dos resíduos sólidos da construção civil	40
2.6.4	Incorporações de resíduos sólidos na construção civil	42
2.7	Resíduos de Casca de Ovo (RCO)	43
3	MÉTODOS E MATERIAIS	48
3.1	Materiais Utilizados	48
3.1.1	Preparação das cascas do ovo	49
3.2	Análise Granulométrica	51
3.3	Produção das Argamassas.	52
3.4	Ensaio Realizados	54
3.4.1	Determinação do índice de consistência	54
3.4.1.1	Moldagem dos corpos de prova	55
3.4.2	Resistência à tração na flexão e à compressão	57
3.4.3	Determinação da absorção de água por capilaridade.	60
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	62
4.1	Ensaio de Consistência	62
4.2	Resistencia à Tração na Flexão e à Compressão	63
4.3	Absorção por Capilaridade.....	65
5	CONCLUSÕES	68
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional e a exploração desenfreada dos recursos naturais são problemas para o desenvolvimento sustentável do planeta. Atualmente, identificar alternativas sustentáveis torna-se cada dia uma necessidade, visto que a escassez de recursos naturais está se tornado uma realidade.

Quando os resíduos sólidos não são manejados de forma adequada, sejam esses de qualquer origem, geram desperdício, sendo ameaças à saúde pública, comprometendo a qualidade de vida da população, além de contribuir para a degradação do meio ambiente (COLLATO e BERGMAN, 2009; SIQUEIRA, 2013; GONÇALVES, 2019).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) define Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos como um conjunto de ações que visam soluções para os resíduos levando em consideração as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável e realizando o controle social (BRASIL, 2010).

Até há poucos anos atrás, os resíduos provenientes dos mais diversos sectores tinham como fim de vida a deposição em aterro, com todos os problemas ambientais que acarretava. No entanto, esta realidade tem vindo a alterar-se e os conceitos de reciclagem e reutilização fazem já parte da consciência da população. O espaço disponível para deposição de resíduos é cada vez menor face à era industrializada em que vivemos. Está problemática associada aos custos que as empresas têm pela produção de resíduos, encoraja ainda mais a gestão e o estudo de alternativas no sentido da questão ambiental. Vê-se assim uma oportunidade de aprofundar conhecimentos, criando novos produtos e rentabilizando os desperdícios dos diversos sectores.

O resíduo em análise para este trabalho é a casca de ovo, sub produto gerado em grandes quantidades pela indústria alimentar e avícola.

O ovo galináceo é um produto de baixo custo e largamente consumido pela maioria da população mundial. Atualmente, existe uma enorme dificuldade no descarte final desse resíduo, sendo geralmente jogado em aterros, apesar de não ser

classificado como perigoso, o descarte de forma incorreta é um agravo à saúde pública por ser um chamariz para roedores e insetos.

Os resíduos sólidos orgânicos, quando descartados inadequadamente, atingem diretamente o meio ambiente por promoverem a poluição do ar pela liberação de gases tóxicos, do solo através da infiltração dos líquidos percolados, dos recursos hídricos com a consequente redução do oxigênio, dentre outros impactos (SOARES, 2009 *apud* ALVES, 2019).

Como a casca de ovo é rica em carbonato de cálcio, proteínas e minerais, esta pode ser aplicada em diversos processos produtivos, tais como correção de pH do solo, na indústria de cosméticos, suplementos alimentares, na área da odontologia, para remoção de metais pesados em alguns resíduos, como catalisador sólido na produção de biodiesel, absorvente por remoção de íons poluentes e como material luminescente (OLIVEIRA *et al.* 2009; MURAKAM, 2009; NAGABHUSHANA *et al.* 2016; LACA *et. al.* 2017).

Nesse contexto, este trabalho visa contribuir para um conhecimento acerca de incorporação de resíduos de casca de ovo na formulação sustentável de argamassas.

1.2 Objetivo Geral

Verificar a influência da substituição parcial do cimento Portland por pó de resíduo da casca de ovo de galinha, como fonte alternativa de carbonato de cálcio, para a produção de argamassa.

1.2.1 Objetivos específicos

- Analisar a viabilidade técnica da utilização do resíduo de casca de ovo como material alternativo para a produção de argamassa;
- Ampliar os conhecimentos a respeito das características e propriedades do resíduo de cascas de ovo incorporado a argamassas;
- Identificar os parâmetros de substituição de casca de ovo em argamassa;

1.3 Justificativa

A consciência ambiental está diretamente relacionada à sustentabilidade, colocam em prática ações para preservar os recursos naturais do planeta, torna-se cada vez mais uma necessidade, visto que a cada dia o mundo já vislumbra o esgotamento dos recursos naturais.

Nessa perspectiva, esse trabalho tem como finalidade propor à utilização do resíduo da casca de ovo galináceo como fonte alternativa para produção de argamassa. Isto permitirá não somente na contribuição para a diminuição do descarte inadequado dos resíduos, diminuindo o impacto ambiental e econômico para as indústrias do ramo alimentício, mas também para a de produtos sustentáveis que possam substituir as fontes de cálcio tradicionais.

Atualmente, a valorização de resíduos em materiais cimentícios tem sido bastante utilizada. Alguns resíduos possuem composições químicas e mineralógicas que os credenciam para substituir parcial ou totalmente as matérias-primas tradicionais (MARTINS et al. 2007).

ALMEIDA (2018) desenvolveu e caracterizou uma nova rota para obtenção do biocimento de fosfato de cálcio utilizando resíduo sólido proveniente da indústria de rochas ornamentais, especificamente o resíduo de mármore. Os resultados mostraram que à medida que se muda a razão molar entre Cálcio/Fósforo (Ca/P), a intensidade das fases também se altera. Os biocimentos sintetizados apresentaram uma grande estabilidade térmica comprovada através de análises térmicas e suas partículas apresentaram cristalitos na escala nanométrica. Esse tamanho reduzido dos cristalitos potencializa as propriedades dos biocimentos.

LUNA (2018) teve como objetivo desenvolver e caracterizar um novo material de aluminato de cálcio utilizando o resíduo de casca de ovo (RCO) proveniente da indústria alimentícia via ativação mecânica. Os resultados experimentais demonstraram a viabilidade de valorização do uso do resíduo de casca de ovo, rico em calcita, como uma fonte de material carbonato alternativo na síntese do aluminato de cálcio com propriedades fosforescente.

BUSCH (2016) investigou incorporação de resíduo proveniente da etapa de lapidação do vidro, vidro sodo-cálcico, no processo produtivo de cerâmica vermelha,

reduzindo o volume de matéria-prima natural extraída, das emissões de poluentes e o consumo de energia, refletindo em conservação de recursos naturais. Os resultados obtidos demonstraram que a concentração de 10% a temperatura de queima de 1050°C se mostrou mais indicada, melhorando as propriedades da cerâmica.

AGOPYAN et al. (2003) , desenvolveram um composito com aragamassa de aglomerantes alternativos (escória granulada de alto forno e cinza de casa de arroz) e fibras de cococ ,que apontarem para a possibilidade de construção de painéis com materiais reforçados com fibra vegetais .Os ensaios demonstraram que um aumento de fibras eleva a resistencia ao impacto e o teor de ar incorporado reduz levemente a resistênciã à tração ,flexão e compressão ,contudo a forma de ruptura passa de frágil a dúctil,precedida de fissuração generalida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objetivo introduzir os conhecimentos necessários para o entendimento da proposta apresentada neste trabalho, trazendo uma revisão histórica acerca do uso e composição da argamassa, expondo conhecimentos atuais dos vários materiais constituintes, assim como as suas funções e propriedades. Serão apresentadas também informações pertinentes a respeito dos resíduos sólidos na construção civil. Por fim, serão apresentadas informações a respeito do ovo, cujo resíduo norteia a elaboração deste trabalho, no qual será analisado a sua produção, composição e as possíveis aplicações conhecidas na área da construção civil.

2.1 Definição e Contexto Histórico das Argamassas

Para Carasek (2010), as argamassas são materiais muito empregados na construção civil, sendo os seus principais usos no assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos, além de contrapisos para a regularização de pisos e ainda no assentamento e rejuntamento de revestimentos de cerâmica e pedra.

A NBR 7200 (ABNT, 1998) define a argamassa inorgânica como a mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento. Define também o revestimento de argamassa como sendo o “recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, em espessura usualmente uniforme, apta a receber, sem danos, uma decoração final”.

Acredita-se que a argamassa foi utilizada pela primeira vez como material de construção na pré-história, há cerca de 11.000 anos. No sul da Galiléia, próximo de Yiftah'el, em Israel, foi descoberto em 1985, quando de uma escavação para abrir uma rua, o que hoje é considerado o registro mais antigo de emprego de argamassa pela humanidade: um piso polido de 180 m², feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, o qual se estima ter sido produzido entre 7.000 a.C. e 9.000 a.C. (European Mortar Industry Organization – EMO, 2006; Hellenic Cement Industry Association – HCIA, 2006, *apud* CARASEK,2007).

Também é mencionado que em 2000 a.C. no palácio de Knossos, em Creta, na Grécia, foram encontrados locais revestidos com duas camadas de argamassa com cal e fibras de cabelo para melhor consolidação (GUIMARÃES, 2002).

Aos gregos é creditado o desenvolvimento do conhecimento da cal e de suas aplicações, porém foram os romanos que iniciaram sua mistura com agregados graúdos, areias e fragmentos cerâmicos na composição de concretos rudimentares. Posteriormente, os romanos aperfeiçoaram esta mistura com a adição de cinzas vulcânicas, melhorando o desempenho de sua argamassa frente a umidade, e pode ser considerado o primeiro aglomerante com características hidráulicas, responsável pela integridade de grandes obras romanas até a atualidade (RECENA, 2012).

Contudo, de acordo com Moraes (2014), é importante salientar que a argamassa era uma solução de acabamento de baixo custo em comparação ao acabamento em pedra, principalmente em comparação com os revestimentos em mármore, utilizados pelas grandes edificações da antiguidade greco-romana. Assim, o principal objetivo dessa substituição era economizar. Entretanto, seu uso também tinha como finalidade deixar as construções com características mais próximas do revestimento natural, imitando pinturas e texturas dos mármore travertinos.

No Brasil, o uso da argamassa como revestimento de paredes e tetos das construções foi uma prática trazida pelos colonizadores que se espalhou depois que a colônia ganhou um patamar de desenvolvimento compatível (PISSOLATO, 2016).

De acordo com Morais (2014) *apud* Pissolato (2016), a colonização portuguesa, tanto no Brasil, como no norte da África, fez com que os portugueses, conhecedores do clima dos dois continentes e experientes com o clima europeu, desenvolvessem, aqui, técnicas construtivas para as obras de maior porte e importância semelhante aos do norte da África, pelas condições climáticas e da mão de obra escrava. As construções conhecidas hoje como coloniais são deste período com paredes de taipa de pilão e revestidas com argamassa composta de cal, areia e água. As construções anteriores, do período entre o descobrimento até o final do século XVIII, poucos exemplos perduraram em virtude dos materiais construtivos que, na maioria dos casos, era uma mistura de técnicas indígenas e pau a pique e sua vulnerabilidade ao tempo era fatal.

Segundo Guimarães (2002), as argamassas mais antigas eram constituídas da mistura de cal, água e areia, mas com as alterações e as novas técnicas de construção, novos materiais foram desenvolvidos. Atualmente, as argamassas

modernas, possuem em sua composição o cimento Portland, muito frequentemente, aditivos orgânicos para melhorar algumas propriedades, como a trabalhabilidade. Já no final século XIX surgiram, na Europa e nos Estados Unidos, as argamassas industrializadas, misturas prontas, dosadas em plantas industriais, para as quais, na obra, só é necessária a adição de água, as quais são muito empregadas atualmente também no Brasil (CARASEK, 2010).

2.2 Materiais Constituintes das Argamassas

Conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas são constituídas de agregados miúdos, água, aglomerantes inorgânicos e ainda podem conter ou não aditivos com propriedades de aderência e endurecimento, sendo classificadas de acordo com o uso e aplicação e podendo ser de fabricação em escala industrial ou mesmo dosada em obra.

Carneiro (1993) diz que os constituintes básicos das argamassas são: cimento, cal, areia e água, e que, em função das proporções adotadas para cada constituinte durante a dosagem, tem-se uma grande variedade de possibilidades. Ainda, é possível utilizar aditivos que permitem intervir e controlar determinadas características de uma mistura.

As argamassas de revestimento, basicamente, são constituídas por aglomerantes (cimento e cal), areia e água, podendo também conter aditivos e adições, normalmente acrescidos com o objetivo de dar plasticidade à massa ou de melhorar outras características e propriedades específicas (CARASEK et al. 2001).

2.2.1 Agregados

O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. São basicamente a areia e a pedra britada (VALVERDE, 2001).

Agregados para construção civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de

engenharia civil, tais como; a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros. Os agregados são abundantes no Brasil e no mundo (DNPM, 2009 *apud* SANTOS et al., 2013).

Segundo a norma NBR 9935 (ABNT, 2011), os agregados são definidos como os materiais granulares, geralmente inertes, com dimensões e propriedades adequadas para preparação de produtos artificiais empregados na construção civil, tais como as argamassas, o concreto e o asfalto.

Os agregados são constituintes praticamente inertes na formulação das argamassas e podem ser classificados segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente (ILLSTON, 2005).

A NBR 7211 (ABNT, 2019) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultante da britagem de rochas.

A areia é considerada um dos agregados miúdos mais utilizado na construção civil, possuindo forte influência na composição das argamassas e em fatores tais como: a dureza, a forma dos grãos, a granulometria e a porosidade. Outro fator de influência que deve ser considerado é a sua origem e o estado de limpeza. Portanto, a areia é o esqueleto da argamassa que ganha coesão pela ligação dos seus grãos ao ligante (MARGALHA, 2011).

De acordo com Bedin et al. (2003), a areia é um agregado que atua como inerte na argamassa, reduzindo a proporção dos aglomerantes. O custo da mistura diminui os efeitos nocivos do excesso de cimento, se existir. Segundo Baía e Sabbatini (2008), vários são os aspectos a serem considerados na areia para a composição da argamassa, são eles: composição granulométrica, dimensões, forma e rugosidade superficial dos grãos, massa unitária, inchamento e presença de impurezas orgânicas.

2.2.2 Água

Segundo Guimarães (2002), a água, como componente da argamassa, tem uma considerável importância, pois sua mistura com outros componentes formará uma massa contínua, e, com a sua devida adição, ocorrerá a trabalhabilidade correlacionada.

Embora a água seja um recurso diretamente utilizado pelo pedreiro para regular a consistência da mistura, fazendo a sua adição até a obtenção da trabalhabilidade desejada, o seu teor deve atender ao traço pré-estabelecido, seja para argamassa dosada em obra ou na indústria.

Vale salientar que a água potável é a melhor opção para a elaboração de produtos à base de cimento Portland. Em geral, a água que serve para o amassamento da argamassa é a mesma utilizada para o concreto e deve seguir a NBR NM 137 (ABNT, 1997).

2.2.3 Ligante

Material ligante que tem por objetivo promover a união entre os grãos dos agregados, na construção civil podem ser divididos em dois grupos: inorgânicos(hidráulicos e aéreos) e orgânicos.

Os ligantes hidráulicos endurecem adquirindo forma pétreia, tanto ao ar como na água. Incluem-se neste grupo as cals hidráulicas, os cimentos e as pozolanas quando misturadas com cals. Os ligantes aéreos endurecem apenas ao ar, originando argamassas não resistentes à água, tais como o barro, o gesso, anidrites e a cal aérea. Os ligantes orgânicos são líquidos, mais ou menos viscosos, que endurecem por esfriamento ou evaporação dos seus solventes, como o alcatrão, asfalto e o betume asfáltico.

Os ligantes hidráulicos e os ligantes aéreos, respectivamente; têm ainda a função de aglutinar materiais sólidos (areias), preenchendo os espaços vazios existente entre estes, oferecendo resistência e coesão à argamassa (AGOSTINHO, 2008).

2.2.3.1 Cal hidratada

Na construção civil ,seu principal uso sé da na forma de aglomerante em argamassas mistas de cimento ,cal e areia.. Numa argamassa em que há apenas a presença de cal, destaca-se as propriedades de trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações. Entretanto, são reduzidas as suas propriedades de resistência mecânica e aderência.

De acordo com Guimarães (2002), a cal quando adicionada à argamassa

aumenta a resistência à penetração de água, garantindo maior durabilidade das construções. A capacidade de retenção de água das argamassas está relacionada com a quantidade de cal hidratada adicionada a mistura.

A retenção de água é a propriedade das argamassas de conter a perda de água para a superfície de aplicação e para o ambiente. Uma argamassa com boa retenção de água retarda o endurecimento da mesma, o que é de suma importância em questões de aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, entre outros. Os principais fatores que influenciam na retenção de água são os tipos de materiais utilizados e a dosagem de cada um deles. Esta propriedade pode ser melhorada com a adição de cal ou de outros aditivos (BAIA e SABBATINI, 2008).

CARASEK et al.(2001) por sua finura, possui importantes propriedades plastificantes e de retenção de água. Dessa forma, as argamassas contendo cal preenchem mais fácil e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. Por sua vez, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar fissuras e preencher vazios, o que é conseguido através da reação de carbonatação que se processa ao longo do tempo. Este aspecto particular da cal é conhecido como restabelecimento aglomerante nas argamassas de revestimento e assentamento

2.2.3.2 Cimento

Os cimentos hidráulicos calcários, formados na sua maioria por silicatos e aluminatos de cálcio, podem ser classificados em cimento natural, cimento Portland ou cimento aluminoso.

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico de origem mineral. O produto se origina da calcinação de misturas bem proporcionadas de calcário com alto teor de cálcio e baixo de magnésio, e argilas. A mistura calcinada – clínquer – é moída com uma pequena porcentagem de gipsita (silicato de cálcio hidratado natural) e, posteriormente, ainda são acrescentadas adições minerais como escória de alto forno, pozolanas e filer calcário (GUIMARÃES, 2002).

2.2.4 Adições

Entre as adições minerais que mais são utilizadas, destacam-se as que têm,

em sua composição sílica amorfa como a sílica ativa, cinza volante, cinza de casca de arroz, e a escória de alto forno. O seu uso acarreta vários pontos positivos. Por ser um material muito fino, concede muitos benefícios, entre eles a baixa porosidade, o que aumenta a resistência mecânica, produzindo um concreto com baixa permeabilidade, aumentando a vida útil (DAL RI, 2002).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), as adições minerais consistem no uso de materiais do tipo arenoso, bem finos e moídos, podendo ser produtos naturais ou industrializados.

A utilização de adições minerais como filler em substituição parcial do cimento pode gerar desde a economia no valor final da obra até ajudar a amenizar os impactos ambientais e contribuir para o desenvolvimento sustentável (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005). A quantidade de subprodutos nas indústrias do mundo inteiro, é excedente à demanda da reciclagem, portanto, é muito importante o estudo de substituição parcial de resíduos minerais na parte do cimento e concreto convencional (SANTOS, 2008).

2.2.4.1 Filler Calcário

O filler calcário se configura como um pó fino, proveniente de rocha de calcário, podendo ser classificado como calcítico ou dolomítico, dependendo de sua composição química (FELEKOGU, 2009 *apud* MORAES, 2010). Este é considerado uma adição mineral sem atividade química, podendo desta forma ajudar na hidratação do concreto, deixando-o com pouca porosidade.

Segundo Moraes (2010), o filler calcário foi considerado por muito tempo como um material inerte. De acordo com Modler et al. (2007), as adições do tipo inerte são incorporadas ao concreto para conferir melhores resultados de coesão, viscosidade, refinamento dos poros da pasta de cimento hidratada e da zona de transição e melhorar a resistência ao ataque por agentes agressivos.

De acordo com Dal Molin (2005) os efeitos físicos do filler adicionado no concreto, são:

- Efeito microfiller: Acréscimo da densidade do composto que resulta no preenchimento dos espaços vazios do concreto. Suas partículas tem diâmetro menor ou igual ao do cimento.

- Refinação dos poros e dos materiais de hidratação do cimento: As partículas de adições minerais podem atuar juntamente com os pontos de nucleação dos produtos de hidratação; portanto, o acréscimo dessas partículas ocorrerá nos poros já ocupados pela água e adição, conseqüentemente, acelerando a reação e resultando em tipos diferentes de produtos de hidratação.
- Modificação da microestrutura na zona de transição: A mistura da adição mineral do filler na composição do concreto afeta a movimentação de partículas de água em relação aos demais sólidos da composição, eliminando ou reduzindo de forma considerável o excesso de água que fica livre.

2.2.4.2 Escórias de alto-forno;

De acordo com Pecchio e Battagin (1999) *apud* Brizola (2007), a escória de alto forno é um subproduto da manufatura do ferro-gusa em alto-forno, sendo que cada tonelada deste produz aproximadamente 300 kg de escória. A escória corresponde ao líquido sobrenadante na base do alto-forno e se separa do ferro-gusa, também líquido, por diferença de densidade. Na saída do alto forno, a escória passa por um resfriamento rápido ao cair em tanques com água, conhecidos por tanques de granulação. Este é o processo de obtenção da escória granulada e vítrea que é utilizada tradicionalmente pela indústria cimenteira como adição ao cimento Portland.

Para Golaszewski (2005), o uso de escória de alto-forno melhora significativamente o desempenho do concreto, particularmente com relação à durabilidade. A adição de escória de alto-forno influencia significativamente as propriedades reológicas, o tempo de pega e a resistência à compressão das argamassas. A forma e a magnitude dessa influência dependem das propriedades do cimento e do superplastificante que são utilizados nas dosagens, além das propriedades e teor de escória de alto-forno adicionada.

A confecção de concretos substituindo-se parcialmente, em massa, o cimento do concreto de referência por adições de escória de alto-forno, mostra que adição de 35% promove um crescimento mais lento da resistência, porém, não afeta significativamente o valor da resistência à compressão aos 28 dias. Além disso,

contribui para um aumento de 10% no módulo de elasticidade dinâmico nessa idade. A tenacidade à fratura parece não ser afetada pelas adições (VOGT et al, 2006).

2.2.4.3 Materiais pozolânicos

A adição de materiais pozolânicos gera inúmeros benefícios, por reutilizar os resíduos gerados na construção civil e na indústria, quando agregados diretamente ao cimento, reduzem o consumo de energia e poluição do ar gerados pela produção do mesmo, ao substituir grande parte desse produto na indústria.

As pozolanas são materiais siliciosos ou silio-aluminosos que por si só não endurecem debaixo de água, mas quando divididos e na presença de humidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio a temperaturas vulgares formando compostos com propriedades cimentícias

Estes materiais podem ser divididos em dois grandes grupos, naturais e artificiais. As pozolanas naturais encontram-se na natureza e são provenientes do rápido arrefecimento de produtos de erupções vulcânicas ou sob a forma de terra diatomácea. As pozolanas artificiais resultam de processos de queima a temperaturas específicas de materiais naturais.

A pozolana também inibe a reação álcali-agregado que ocorre entre a Portlandita, presente na pasta de cimento, e o agregado graúdo, quando este possui fases mineralógicas reativas. Esta reação gera um gel expansivo no interior do concreto que leva à fissuração do mesmo. Como a pozolana consome as moléculas de carbono e hidrogênio, a reação álcali-agregado fica inibida de ocorrer por haver reduzida quantidade de álcalis livres no sistema.

A cinza da casca do arroz (CCA), tem comportamento similar ou até melhor que a sílica ativa. Por isso, alguns pesquisadores a consideram como uma super pozolana, quando obtida por meio de queima controlada, possui como maior componente químico, o dióxido de silício (SiO_2), variando entre 74 a 97%, independentemente do processo de queima (TASHIMA et al., 2004 *apud* SANTOS, 2016). O elevado teor de sílica torna a CCA valorizada, mas este resíduo só terá alto valor econômico se tiver alta qualidade, caracterizada pela elevada superfície específica, tamanho e pureza de partícula, podendo ser usado em diversas aplicações assim como em substituição parcial do cimento, em produtos da construção civil (Foletto et al. 2005).

Conforme Mehta e Monteiro (2014), substituir parcialmente o Cimento Portland

por pozolanas, acelera o início das reações de hidratação dos compostos do cimento, o que gera a liberação de uma maior quantidade de cal e auxilia na formação de mais produtos de hidratação, influenciando nas características de resistência mecânica, ataques químicos e reações expansivas de argamassa e concretos no estado endurecido.

2.3 Funções da Argamassa e Suas Aplicações

A escolha adequada da argamassa pode impactar significativamente na construção de uma obra. Basicamente, as argamassas podem ser colante, de rejuntamento, de revestimento e de assentamento.

A argamassa de revestimento, utilizada para revestir paredes, apresenta algumas funções relacionadas quanto a sua finalidade e aplicação. Essas funções podem ser: regularizar a superfície servindo como base para acabamentos finais; proteger a edificação contra a ação do intemperismo; servir como isolamento térmico (até 30%), acústico (até 50%), estanqueidade à água (entre 70% a 100%) e resistência ao desgaste superficial (CARASEK, 2010).

De acordo com Carasek (2010), o revestimento de argamassa deve apresentar capacidade de absorver pequenas deformações, para se deformar sem ruptura ou por meio de microfissuras, de maneira a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade.

O chapisco é uma camada de preparo da base e tem como objetivo uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento. Já o emboço tem como função cobrir e regularizar a base, permitindo com que a superfície receba outra camada, podendo ser de reboco ou de revestimento decorativo (CARASEK, 2010).

A camada de argamassa de reboco deve ser executada diretamente sobre o chapisco se a base estiver bem aprumada, ou sobre a camada de regularização (emboço). Esta camada permite receber o revestimento decorativo, como, por exemplo, a pintura, ou ainda constituir o acabamento final (FIORITO, 2009).

Carasek (2007) propõe uma classificação para argamassas de acordo com sua função construtiva, conforme o Quadro 1. Estas funções estão associadas a finalidades ou aplicações.

Quadro 1 – Classificação de argamassas quanto à função

FUNÇÃO	TIPO
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/ pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

(Fonte: Adaptado de Carasek, 2010)

Quanto à forma de preparo e ao fornecimento das argamassas, segundo Carvalho Jr. (2005), as argamassas podem ser preparadas em obra, dosadas em central, ou industrializadas – que são comercializadas ensacadas.

As argamassas podem ser classificadas com relação a vários critérios, quanto ao tipo de aglomerante, plasticidade e consistência ou quanto à forma de preparo e fornecimento. Segundo Fiorito (2009), a aplicação de uma argamassa é determinada pelo tipo de aglomerante a ser usado na mistura. Por exemplo, a argamassa mista de cimento e cal é utilizada em alvenarias estruturais ou não, em contrapisos, no preparo das paredes e pisos para receberem revestimento cerâmico e aplicado como emboço de paredes. Já as argamassas de cimento são utilizadas nos revestimentos onde são exigidas condições de impermeabilidade, como é o caso de obras hidráulicas e no interior de reservatórios de água.

Ainda de acordo com Carasek (2010), as argamassas são também comumente classificadas pelos seguintes critérios:

- a) natureza do aglomerante: aérea e hidráulica;
- b) tipo do aglomerante: cal, cimento, gesso, cimento e cal e cal e gesso;
- c) número de aglomerantes: simples e mista;
- d) consistência: seca, plástica e fluida;
- e) plasticidade: pobre, média e rica;
- f) densidade da massa: leve, normal e pesada;
- g) forma de preparo ou fornecimento: preparada em obra, mistura semipronta, industrializada e dosada em central.

Quanto à forma de aplicação as argamassas, podem ser aplicadas sobre a base manualmente ou através de projeção mecânica. O lançamento manual da argamassa é feito com a colher. Para lançamento mecânico, há pelo menos duas formas de executar o serviço: com bombas e mangote na ponta ou jateador a ar comprimido (CAVANI, 2004).

2.4 Propriedades das Argamassas

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), que estabelece as exigências básicas para as argamassas de assentamento e revestimento, as mesmas devem dispor de um conjunto de parâmetros específicos, tanto para o estado fresco, quanto para o estado endurecido.

Entretanto, para a apreciação completa destas propriedades, torna-se necessário considerar a interação da argamassa com os diferentes materiais com os quais entrará em contato, pois seu comportamento será variável dependendo diretamente desta interação (CARASEK, 2010). No Quadro 2 são apresentadas as funções e seus principais requisitos.

Quadro 2 – Principais propriedades e requisitos das argamassas relacionadas as suas funções

TIPO DE ARGAMASSA	FUNÇÃO	PRINCIPAIS REQUISITOS/PROPRIEDADES
Argamassa de assentamento de alvenaria (elevação)	<ul style="list-style-type: none"> • Unir as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais • Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos • Absorver deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita • Selar as juntas 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e retenção de água) • Aderência • Capacidade de absorver deformações • Resistência mecânica
Chapisco	<ul style="list-style-type: none"> •Garantir aderência entre a base e o revestimento de argamassa •Contribuir com a estanqueidade da vedação 	<ul style="list-style-type: none"> •Rugosidade •Aderência
Emboço e camada única	<ul style="list-style-type: none"> •Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo •Integrar o sistema de vedação dos edifícios contribuindo com diversas funções (estanqueidade, etc.) •Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos 	<ul style="list-style-type: none"> •Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial) •Baixa retração •Aderência •Baixa permeabilidade à água •Capacidade de absorver deformações •Resistência mecânica
Contrapiso	<ul style="list-style-type: none"> • Regularizar a superfície para receber acabamento (piso) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aderência • Resistência mecânica
Argamassa colante (assentamento de revestimento cerâmico)	<ul style="list-style-type: none"> • “Colar” a peça cerâmica ao substrato • Absorver deformações naturais a que o sistema de revestimento cerâmico estiver sujeito 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhabilidade (retenção de água, tempo em aberto, deslizamento e adesão inicial) • Aderência • Capacidade de absorver deformações (flexibilidade) – principalmente para fachadas.
Argamassa de rejuntamento (das juntas de assentamento das peças cerâmicas)	<ul style="list-style-type: none"> •Vedar as juntas •Permitir a substituição das peças cerâmicas •Ajustar os defeitos de alinhamento •Absorver pequenas deformações do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> •Trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial) •Baixa retração •Aderência •Capacidade de absorver deformações (flexibilidade) – principalmente para fachadas
Argamassa de reparo de estruturas de concreto	<ul style="list-style-type: none"> •Reconstituição geométrica de elementos estruturais em processo de recuperação 	<ul style="list-style-type: none"> •Trabalhabilidade •Aderência ao concreto e armadura originais •Baixa retração •Resistência mecânica •Baixa permeabilidade e absorção de água (durabilidade)

2.4.1 Trabalhabilidade e aspectos reológicos da argamassa

De acordo com Carasek (2010), a trabalhabilidade é a principal propriedade no estado fresco. Ela determina a facilidade com que a argamassa pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada, sem perder a homogeneidade. Ainda segundo a autora, a trabalhabilidade deve ser ajustada ao modo que a argamassa será aplicada. Este ajuste é de grande importância, já que algumas propriedades no estado endurecido dependem da aplicação da argamassa com boa trabalhabilidade no estado fresco; uma destas propriedades é a aderência.

A autora acrescenta ainda que ela é resultante do conjunto de outras propriedades, que diretamente definirão seus aspectos reológicos, dentre elas destaca-se: consistência, plasticidade e coesão, adesão inicial e retenção de água.

2.4.2 Consistência e plasticidade

A consistência corresponde à resistência das argamassas no estado fresco, expostas às deformações que lhe são impostas, adequando-se a quantidade de água utilizada, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência, em **secas**, onde a pasta preenche os vazios entre os grãos, **plásticas**, onde a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados, e em **fluidas**, onde os grãos ficam imersos na pasta (SILVA, 2006). A norma NBR 13276 (ABNT, 2016) estabelece o método para a determinação do índice de consistência da argamassa. Para a análise da consistência da argamassa é utilizada no Brasil a mesa de consistência (*flow table*) prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 1996).

Já plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada de tensões de deformação, e é também influenciada pelos tipos e pelas quantidades de aglomerantes e agregados, pelo tempo e intensidade da mistura, além da presença de aditivos (CARASEK, 2010).

Para Guimarães (2002), a plasticidade de um sistema é a expressão da possibilidade de uma pequena força externa causar o deslocamento de partículas em relação a outras, sem saírem de suas esferas de atração. No caso das argamassas,

a plasticidade é definida como a característica que as tornam deslizantes e de fácil espalhamento, sem separação da água ou segregação do material sólido da mistura.

A plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, demanda uma quantidade ótima de água, a qual significa uma consistência ótima que, por sua vez, é função do proporcionamento e natureza dos materiais. Assim, consistência e plasticidade são os principais fatores condicionantes da propriedade trabalhabilidade e, por isso, algumas vezes são confundidas como sinônimos de trabalhabilidade (CARASEK, 2007).

2.4.3 Retenção de Água

Retenção de água é a propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca de manter a trabalhabilidade quando submetida a solicitações que provocam a perda de água tanto pela sucção da base quanto por evaporação (CARASEK, 2007).

Após o endurecimento, as argamassas dependem de uma adequada retenção de água para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes aconteçam de maneira apropriada. A norma NBR 13277 (ABNT, 2005) estabelece o método para a determinação da retenção de água da argamassa.

2.4.4 Massa específica e teor de ar incorporado

A densidade de massa corresponde à relação entre a massa e o volume de material. É considerado um fator importante, pois afeta a trabalhabilidade do material, visto que à medida que a densidade diminui, a argamassa se torna mais leve e com melhor trabalhabilidade.

Já o teor de ar incorporado é a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa, que aumenta à medida que a densidade da argamassa diminui, interferindo diretamente em outras propriedades da argamassa. No seu estado fresco, a trabalhabilidade da argamassa melhora com menor densidade de massa e maior teor de ar, afetando negativamente às propriedades de resistência mecânica e a aderência da argamassa, propriedades importantes para que as argamassas sejam

utilizadas. A norma NBR 13278 (ABNT, 2005) estabelece o método para determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado em argamassas no estado fresco.

2.4.5 Retração por secagem

De acordo com Carasek (2007), é um processo que está ligado a variação de volume da pasta das argamassas. A retração na secagem tem papel importante tanto na estanqueidade quanto na durabilidade das argamassas.

Portanto, Baia e Sabbatini (2008) complementam a ideia de Carasek (2007) afirmando que a retração ocorre também pelas ações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. Ainda segundo os autores, a retração na secagem pode causar fissuras que por sua vez podem ou não ser prejudiciais. As fissuras só são prejudiciais quando permitem a infiltração de água no revestimento já endurecido.

2.4.6 Aderência

O termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. Assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais (CARASEK, 2010). Para a autora, a aderência deriva da conjugação de três propriedades da interface argamassa-substrato:

- a resistência de aderência à tração;
- a resistência de aderência ao cisalhamento;
- a extensão de aderência, sendo esta correspondente à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida.

Segundo Carvalho Jr (2005 *apud* FERREIRA, 2010) é importante a aderência tanto da argamassa fresca como da argamassa endurecida. A aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução do assentamento de componentes da base. A capacidade de aderência da interface base-argamassa depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar incorporado da argamassa. No Brasil, a avaliação da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa, também

denominada de resistência ao arrancamento, está prevista na NBR 13528-3 (ABNT, 2019).

2.4.7 Capacidade de absorver deformações

É a propriedade que confere à argamassa, no estado endurecido, a capacidade de suportar as tensões originadas por deformações da base revestida, sem apresentar o surgimento de fissuras, que são prejudiciais no caso de revestimentos, pois implicam em sua permeabilidade, permitindo a percolação de água, comprometendo sua aderência (BAIA e SABBATINI, 2008).

A capacidade do revestimento de absorver deformações pode ser avaliada através do módulo de elasticidade, que pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações.

2.4.8 Resistência mecânica

A resistência mecânica é a propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. Um dos principais problemas nos revestimentos, associado à resistência mecânica da argamassa, é a baixa resistência superficial, que se traduz na pulverulência, prejudicando a fixação das camadas de acabamento como a pintura (CARASEK, 2010).

O proporcionamento dos materiais constituintes da argamassa (traço), assim como inúmeras outras propriedades, também tem influência significativa sobre a resistência mecânica. De acordo com Baía e Sabbatini (2008), a resistência da argamassa varia inversamente com a relação água/cimento e com o tipo de proporção entre cimento e cal em argamassas mistas, com dois aglomerantes, sendo aumentada com uma maior proporção de cimento na composição e diminuída com uma maior proporção de cal, além de ser condicionada pelo teor de ar incorporado, e da técnica de execução, que deve buscar a compactação da argamassa durante a sua aplicação e acabamento.

Segundo Recena (2012) a resistência mecânica das argamassas será sempre

um elemento relevante no controle de avaliação da qualidade, pela verificação da homogeneidade das operações de produção. Para avaliar tal parâmetro tem-se a NBR 13279 (ABNT, 2005), que estabelece as diretrizes para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão nas argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos, descrevendo o método e a prescrição dos ensaios.

2.4.9 Permeabilidade e durabilidade

A permeabilidade está relacionada à passagem de água pelo revestimento argamassado, o qual é um material poroso e permite a percolação de água tanto no estado líquido quanto no de vapor, sendo assim é um atributo estritamente relacionado ao conjunto substrato-revestimento (BAIA e SABBATINI, 2008). Os mesmos autores explanam que o revestimento deve ser estanque à água, impedindo assim a sua percolação, porém, deve ser permeável ao vapor para favorecer a secagem da umidade de infiltração proveniente de chuvas.

A estanqueidade do sistema de revestimento pode ser relacionada com a durabilidade, a qual é definida como uma propriedade do período de uso do revestimento, resultante dos tributos do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do conjunto diante das ações ao longo do tempo (BAIA e SABBATINI, 2008). Ainda de acordo com os autores, fissuras, espessuras excessivas do revestimento e a proliferação de microrganismos podem afetar a qualidade do conjunto. Recena (2012) define durabilidade como sendo a capacidade de uma argamassa em manter sua estabilidade química e física ao decorrer do tempo em condições normais de exposição, desde que submetidas aos esforços que foram previstos em projeto, sem deixar de cumprir as funções para qual foi concebida.

Conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005), a permeabilidade pode ser indicada pelo coeficiente de capilaridade, obtido através do ensaio de absorção por capilaridade.

2.5 A Incorporação de Resíduos Sólidos na Construção Civil

De acordo com Nogueira (2011), o meio ambiente vem sofrendo impactos ambientais e, conforme estudos realizados pode-se obter uma redução em função da reciclagem de resíduos.

A Construção civil consome muitos recursos naturais. O reaproveitamento dos rejeitos gerados pelas empresas nesse setor não é novidade e essa reciclagem já tem sido utilizada em diversos países, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais (COIMBRA; LIMBARDI; MORELI, 2006).

Segundo Barreto (2005), a construção civil é uma indústria que produz grandes impactos ambientais, desde a extração das matérias-primas necessárias à produção de materiais, passando pela execução dos serviços nos canteiros.

As ações voltadas para a gestão de resíduos na construção civil no Brasil são relativamente recentes (MARQUES; OLIVEIRA, 2013). Apenas em 2002 entrou em vigor a resolução CONAMA Nº 307, com o estabelecimento de diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos de construção civil. Nesse contexto, novas formas de gerir os resíduos sólidos tem sido estimulado, sobretudo com a criação de canais reversos de distribuição dos materiais.

Pesquisas realizadas em 2016 apontaram que os municípios coletaram cerca de 45,1 milhões de toneladas de resíduos da construção civil (RCC) no Brasil, apresentando uma diminuição de 0,08% em relação a 2015. Já os dados de 2017 indicam que não houve aumento total de resíduos de construção civil coletados pelos municípios brasileiros, sendo registrado inclusive uma diminuição de 0,1% em relação a 2016 (ABRELPE, 2017). A mesma situação de recuo aconteceu em 2018, com o registro de 44,5 milhões de toneladas de RCC coletados pelos municípios brasileiros (ABRELPE, 2020). Infelizmente, a geração de RCC pode ser ainda maior visto que esses valores se referem apenas aos resíduos gerenciados pelos municípios, sem levar em conta resíduos de grandes geradores, como construtoras e empreiteiras.

Apesar do desenvolvimento e adoção de inovações tecnológicas nas empresas de construção civil, nos últimos anos, os índices de perdas ainda são elevados no país. De acordo com as definições da Resolução CONAMA Nº 307, a gestão adequada de resíduos consiste na separação, quantificação, armazenamento e destinação dos resíduos do empreendimento.

No entanto, com a evolução dos processos construtivos, observa-se atualmente uma tendência no setor, a construção sustentável. A consciência ambiental, através do melhor aproveitamento dos materiais (redução do desperdício) e também do uso de ferramentas e estruturas inteligentes vem ganhando força na engenharia civil.

Nessa perspectiva, para tentar diminuir o impacto ambiental, nas últimas

décadas, os profissionais do setor começaram a desenvolver o conceito de Construção Sustentável.

Jurze (2018) expõe que o grande marco para o desenvolvimento sustentável global foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, em junho de 1992 (a Rio 92), onde foram aprovados uma série de documentos importantes, entre eles a Agenda 21, um plano de ação mundial para orientar a transformação desenvolvimentista (JURZE, 2018 *apud* GOMES, 2020).

Atualmente, o desenvolvimento sustentável pode ser definido como o desenvolvimento que atende as necessidades do presente, sem comprometer as capacidades das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades.

A preocupação com as questões ambientais fez com que tecnologias especificamente voltadas para este fim fossem desenvolvidas, dentro do contexto das *Smart cities*. Deste processo resultou a denominação *Smart grid*, ou rede inteligente, em tradução literal, como uma forma de denominação do fenômeno que desponta na interseção entre a premissa da *Smart city* com o setor de eficiência energética e de otimização de recursos (BENÍCIO, 2018).

De acordo com Cortese, Knies e Maccari (2017), uma cidade sustentável deveria observar os 3 (três) componentes da sustentabilidade em seu planejamento. Isso incluiria tema como: licitação verde, construções sustentáveis, rede de transporte coletivo baseadas em fontes renováveis de energia e destinação adequada de resíduos sólidos e efluentes líquidos.

Portanto, produzir uma cidade inteligente e sustentável envolve um esforço conjunto entre população e Administração Pública, com o objetivo de adequar construções, bem como a infraestrutura e os serviços básicos, para que a população tenha uma melhor qualidade de vida.

2.6 Resíduos Sólidos

O homem, ao longo da história, sempre utilizou os recursos naturais e gerou resíduos com pouca ou quase nenhuma preocupação, uma vez que esses recursos sempre foram abundantes e a natureza aceitava passivamente os despejos realizados (CASA GRANDE et al. 2008).

A palavra resíduo vem do latim *residuum*, que significa resto. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004a), os resíduos sólidos podem ser definidos nos estados sólidos e semi-sólidos, resultante principalmente de atividade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial e agrícola. Nesse grupo, serão incluídos também os resíduos oriundos de sistema de tratamento de água, e demais líquidos cujas características tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto.

Segundo Ribeiro (2009), resíduo pode ser definido como “coisas” indesejadas procedentes do consumo ou produção de bens. Já Barbieri (2007) define lixo, ou resíduo, como o que sobra da atividade humana, pois, no meio rural não existem resíduos, pois geralmente eles se decompõem voltando ao ciclo natural (FERREIRA, 2009).

O processo de industrialização trouxe como consequências o rápido decréscimo dos recursos naturais, já que houve mudanças nos hábitos de consumo da população mundial vindo a tona a cultura do produto descartável, gerando grandes quantidades de resíduos e subprodutos, a maioria deles não reciclados diretamente. Perin (1999) *apud* Gonçalves (2019) afirma que, com essa cultura e com a evolução da tecnologia, houve um aumento crescente na produção de resíduos e a complexidade na degradação dos mesmos. Segundo os mesmos autores, a produção de resíduos era bem reduzida antes da Revolução Industrial, e apresentavam fácil degradação.

Nesse contexto, surge a necessidade de criação e implementação de sistemas de gestão dos resíduos com a finalidade de minimizar os impactos ambientais no meio aos quais estes estão inseridos, visto que tudo que foi utilizado e não pode ser aproveitado é considerado lixo (RIBEIRO et al. 2000).

Segundo Araújo (2002), a gestão de resíduos é um processo que tem como finalidade a definição, planejamento e organização das medidas a serem adotadas pelo sistema de gerenciamento de resíduo, visto que o gerenciamento diz respeito aos aspectos tecnológicos e operacionais que implica na implementação, coordenação, orientação e fiscalização dos objetivos estabelecidos na gestão.

No Brasil, desde 2003, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) publica anualmente o Panorama dos Resíduos Sólidos que tem como objetivo o acompanhamento e evolução histórica e permite que planejamentos futuros sejam realizados e alinhados com bases realistas,

considerando a viabilidade de atendimento das metas estabelecidas pelas políticas públicas (ABRELPE, 2016).

A lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi criada com o objetivo de possibilitar ao Brasil avançar no trato dos problemas ambientais, econômicos e sociais decorrentes da manipulação incorreta dos resíduos sólidos, visto que a lei apresenta um conjunto de diretrizes, objetivos, princípios e instrumentos que aspiram a gestão e gerenciamento integrado e ambientalmente correto dos resíduos sólidos.

Esta lei também traz conceitos de logística reversa, reciclagem e reutilização. A logística reversa seria a viabilização da coleta e restituição dos resíduos para que seja possível o seu reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente correta. A reciclagem é o processo de transformação e tratamento das propriedades dos resíduos para que eles se tornem novos insumos aos produtos. A reutilização consiste no aproveitamento dos resíduos, diferente da reciclagem, sem transformação de suas propriedades (BRASIL, 2010).

2.6.1 Classificação dos resíduos sólidos

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais que podem causar ao meio ambiente e à saúde, ou seja, quanto à sua periculosidade, em:

Resíduos Classe I – resíduos perigosos: são aqueles em que, em função das suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, apresentam risco à saúde pública e ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma errônea.

As características de periculosidade dos resíduos podem ser conceituadas como: inflamabilidade (podem entrar em combustão com bastante facilidade ou até mesmo espontaneamente); corrosividade (atacam materiais e organismos vivos devido as suas características ácidas ou básicas intensas); reatividade (reagem com a presença de outras substâncias, liberando calor e energia); toxicidade (atuam sobre os organismos vivos, ocasionando danos as suas estruturas biomoleculares); e, patogenicidade (possui características biológicas infecciosas, contendo micro-organismos ou toxinas).

Resíduos Classe II – resíduos não perigosos: os resíduos desta classe são

subdivididos em duas classes.

Resíduos Classe II A – não inertes: são definidos pela norma como resíduos que não apresentam características perigosas, como os da classe I, mas características como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos Classe II B – inertes: são aqueles que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperaturas ambientes, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, executando-se aspectos, cor, turbidez, dureza e sabor. O Quadro 3 apresenta, de forma resumida os critérios de classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004) de acordo com a periculosidade.

Quadro 3- Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a ABNT (ABNT, 2004).

CLASSES	CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS / EXEMPLOS
CLASSE I	Perigosos	Inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
CLASSE II	Não perigosos	Resíduo de restaurante (restos de comida); resíduo de papel e papelão; resíduo de madeira; resíduo de borracha e plástico.
CLASSE II – A	Não inerte	Biodegradável, combustível e solúvel em água.
CLASSE II – B	Inerte	Não apresenta atividade, não reage, não é solúvel em água.

Fonte: Adaptado de Luna, 2018

2.6.2 Reciclagem e reaproveitamento dos resíduos sólidos

Atualmente, tem se falado muito em reciclagem e aproveitamento de resíduos sólidos. Os resíduos sólidos consistem em partes e restos sólidos ou semi-sólidos, derivados de atividades humanas ou não, ou seja, mesmo que aparentem ser apenas restos sem utilidade para a atividade onde foram geradas, podem virar matéria-prima para outras atividades.

A reciclagem de resíduos sólidos é uma alternativa sustentável para diminuir o

impacto ambiental desses resíduos.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a implantação da coleta seletiva e obrigação dos municípios e metas referentes à coleta seletiva fazem parte do conteúdo mínimo que deve constar nos planos de gestão integrada de resíduos sólidos do município.

Sendo que, cada tipo de resíduo tem um processo próprio de reciclagem, quando vários tipos de resíduos são misturados, sua reciclagem se torna mais cara ou muitas vezes inviável, pela dificuldade de separá-los de acordo com sua constituição ou composição.

Segundo essa perspectiva, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu que a coleta seletiva nos municípios brasileiros deve permitir, no mínimo, segregação entre resíduos recicláveis e rejeitos.

Os resíduos recicláveis secos são compostos, principalmente por metais, papel, papelão, tetrapak, diferentes tipos de plásticos e vidros. Já os rejeitos, são os resíduos não recicláveis. Outra parte importante dos resíduos são os resíduos orgânicos, que consistem em restos de alimentos e resíduos de jardim.

Segundo o IPEA (2012), sabe-se também que a construção civil não é destaque somente como indústria de grande impacto na economia, mas também é responsável pela produção de 50% a 70% dos resíduos gerados no país. Dentre os resíduos gerados, 90% resumem-se a restos de materiais cerâmicos, argamassas e seus componentes.

Os resíduos de construção e demolição(RCD), podem ser definidos como rejeitos de materiais utilizados na execução de etapas de obras de construção civil, podendo ser provenientes de novas construções, reformas, reparos, restaurações, demolições e obras de infraestrutura (MARQUES NETO, 2005).

Os RCC são gerados, na maioria das vezes, em virtude de desperdício de materiais na execução das obras. Isso ocorre em alguns casos devido à falta de definições em projetos, falta de precisão nos memoriais descritivos, baixa qualificação de mão-de-obra envolvida no processo executivo, tipo de técnica escolhida para construção ou demolição e, ainda, falta de processos que incentivem a reutilização no canteiro e a reciclagem em outros processos. Tais fatores influenciam diretamente na geração de impacto ambiental e podem acarretar quedas na economia do setor (LIMA, 2016).

De acordo com Pinto e Gonzáles (2005), em cidades de médio e grande porte

do Brasil, os resíduos da construção civil correspondiam de 41 a 70% do total dos resíduos gerados nestes municípios, com análise de dados realizada no período de 1990 até 2001.

A composição dos resíduos sólidos da construção civil é classificada conforme resolução CONAMA 307, Art. 3º, apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação dos resíduos da construção civil de acordo com a resolução CONAMA 307.

CLASSE	DESCRIÇÃO DO RESÍDUO	EXEMPLO
A	Materiais que podem ser reciclados ou reutilizados como agregado em obras de infraestrutura, edificações e canteiro de obras.	Tijolos, telhas e revestimentos cerâmicos; blocos e tubos de concreto e argamassa.
B	Materiais que podem ser reciclados e ganhar outras destinações.	Vidro, gesso, madeira, plástico, papelão e outros.
C	Itens para o qual não existe ou não é viável aplicação econômica para recuperação ou reciclagem.	Estopas, lixas, panos e pincéis desde que não tenham contato com substância que o classifique como D.
D	Aqueles compostos ou em contato de materiais/substâncias nocivos à saúde.	Solvente e tintas; telhas e materiais de amianto; entulho de reformas em clínicas e instalações industriais que possam estar contaminados.

Fonte: SIENGE, 2017.

Os resíduos sólidos da construção civil são regulamentados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Resolução 307 de 2002, do CONAMA.

A PNRS introduziu a logística reversa e o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. A logística reversa é definida como um conjunto de ações que possibilitam o reaproveitamento do resíduo sólido em seu próprio ciclo produtivo ou em outros tipos de produções (BRASIL, 2010).

Dessa forma, a reciclagem e a logística reversa diminuem os impactos ambientais e geram redução dos custos de produção, visto que o material pós-consumo é reintroduzido na cadeia de produção (CEMPRE, 2019).

O reaproveitamento dos resíduos sólidos tem se tornado cada vez mais praticado pela população e empresas, com o objetivo de evitar o acúmulo de resíduos no meio ambiente e dar a esses uma destinação ambiental correta. Os métodos de reaproveitamento mais comuns são reciclagem, compostagem e a biodigestão.

Para que os resíduos possam ser reutilizados, estes devem ser classificados e separados de acordo com sua composição. Assim, o seu reaproveitamento permitirá sua reutilização sem perda significativa da sua qualidade inicial, conforme a Lei nº 12.305 de 2010, Política Nacional de Resíduos Sólidos.

2.6.3 Tratamento e disposição final dos resíduos sólidos da construção civil

O gerenciamento de resíduos da construção civil deve abranger o conjunto de ações exercidas, diretamente ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo e destinação final ambientalmente adequadas dos resíduos sólidos (CONAMA, 2002)

Para se alcançar a eficácia e eficiência na gestão dos resíduos é fundamental reduzir a geração de resíduos e esta redução está ligada a duas condicionantes: a tecnologia do processo e a execução das operações. Estas duas devem evoluir ambientalmente para a tecnologia e operação mais adequada.

Durante décadas, no setor da construção civil, não havia nenhuma preocupação sobre a gestão dos seus resíduos, como os impactos causados por eles, pelo esgotamento dos recursos renováveis ou pelos prejuízos e impactos causados pelo desperdício de rejeito produzido (CHAHUD, 2007).

Contudo, ao longo dos anos a construção civil passou por diversas mudanças. Os materiais que antes se resumiam a pedras, madeiras, tijolos e telhas passaram a ser substituídos e incorporados por novos materiais, como: vidro, ferro, gesso e posteriormente o concreto (COSTA, 2010).

A princípio, os RCC não apresentam grandes riscos ambientais devido às suas características químicas e minerais serem semelhantes aos agregados naturais e solos, porém, segundo a empresa VG Resíduos (2017) esses materiais podem esconder grandes perigos, pois em muitos casos estão contaminados com outros produtos perigosos como óleos de maquinários ou podem conter amianto o qual podem causar sérios problemas de saúde.

Esses agregados segundo a VG Resíduos tornam os resíduos da construção civil prejudiciais à saúde humana e ao equilíbrio dos ecossistemas quando descartados irregularmente, principalmente em beira de rios e áreas de proteção

ambiental vindo assim contaminar o solo.

Apesar dos resíduos da construção civil brasileira não representarem grandes riscos ambientais, em razão de suas características químicas e minerais serem semelhantes aos agregados naturais e solos, os resíduos podem conter óleos de maquinários, pintura e asbestos de telhas de cimento amianto. Esses agregados tornam os resíduos da construção civil prejudiciais à saúde humana e ao equilíbrio dos ecossistemas.

De acordo com Paschoalin Filho e Graudenz (2012), estima-se que, no Brasil, este setor seja responsável pela geração de investimentos superiores a R\$ 90 bilhões por ano e pela geração de 62 empregos indiretos para cada 100 empregos diretos. Além disso, a indústria da construção civil também realiza importante papel social, tendo em vista que contribui diretamente na redução do déficit habitacional e de infraestrutura.

Todavia, este setor econômico é também responsável por um consumo significativo de recursos naturais, já que “muitos dos insumos que entram na produção dos materiais de construção são obtidos pela extração em jazidas para atender à demanda de mercado” (PASCHOALIN FILHO; GRAUDENZ, 2012, p. 128). A construção civil impõe ainda ao ambiente outras formas de agressão, como poluição do ar e sonora, contaminação de solo e geração de resíduos.

Segundo dados do relatório publicado pelo IPEA (2012), no Brasil, a geração anual de resíduos da construção civil é de 31 milhões de toneladas, mas há incerteza sobre o real volume, visto que esses são apenas os materiais coletados e um dos principais problemas na gestão desses resíduos é o descarte irregular, sem qualquer rastreabilidade.

Os Resíduos da Construção Civil – RCC, comumente são chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha a seguinte denominação:

[...] resíduos nos estados sólido e semissólido que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e esgoto, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (BOSCOV, 2008, p.11).

Os resíduos sólidos da construção civil são classificados de acordo com o (Quadro 5), sendo necessários procedimentos para sua gestão mais significativa da obra, conforme padrões dispostos na NBR 10004 (SINDUSCON-MG, 2008).

Quadro 5: Destino dos RCC em função da classe-CONAMA nº 307 /2002

CLASSE	COMPONENTES	DESTINAÇÃO
A	Componentes cerâmicos, argamassas, concreto e outros, inclusive solos.	Reutilizar ou reciclar na forma de agregados, ou encaminhar a aterro de resíduos da construção civil, dispendo de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
B	Plástico, papel e papelão, metais, vidros, madeiras e outros.	Reutilizar, reciclar ou encaminhar a áreas de armazenamento temporário, permitindo sua utilização ou reciclagem futura.
C	Gesso e outros.	Armazenar, transportar e destinar em conformidade com normas técnicas específicas.
D	Tintas, solventes, óleos e outros resíduos contaminados.	Armazenar, transportar, reutilizar e destinar em conformidade com normas técnicas específicas.

Fonte: adaptado CHAHUD (2007, p. 49)

Atualmente o grande desafio do Setor da Construção Civil é conciliar a magnitude da produção com condições que contribuam para reduzir os impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade.

2.6.4 Incorporações de resíduos sólidos na construção civil

Com o crescimento das atividades industriais, é enorme a quantidade de resíduos sólidos gerados após a confecção dos seus produtos, visto que a responsabilidade pela destinação final dos resíduos também é da empresa, é necessário por parte desta um plano de gerenciamento, buscando soluções para minimizar os impactos causados pela disposição desses resíduos no meio ambiente, bem como reduzir os custos envolvidos nesta atividade.

O setor da construção civil, sendo um grande consumidor de recursos naturais, surge como uma alternativa econômica e necessária para a disposição final de alguns resíduos industriais, através da incorporação em produtos cerâmicos e cimentícios, pois promove o desenvolvimento sustentável, contribuindo na conservação e

preservação ambiental.

Ao utilizar resíduos como matéria prima em substituição aos materiais tradicionais, é necessário que esse insumo apresente padrões compatíveis com a sua utilização. Nos casos em que o material reciclado e o natural têm o mesmo custo, o diferencial será a qualidade do produto, de forma a garantir que o produto seja ambientalmente correto (CARNEIRO, 2001).

Contudo, é de fundamental importância uma avaliação desses resíduos sobre suas características e o uso à saúde dos novos usuários do material. Nessa perspectiva, a incorporação de resíduos sólidos na construção civil vem se mostrando uma alternativa viável à destinação dos resíduos, bem como barateando os produtos de construção civil.

Menezes *et al.* (2002) afirmam que diversas instituições de pesquisa estão se interessando em estudar a reutilização de resíduos sólidos resultantes de diversos processos industriais. Assim, esses resíduos podem ter potencialidades como tipo e qualidade do resíduo, visto com tratamento e disposição tecnológica, e impacto econômico e ambiental.

2.7 Resíduos de casca de ovo (RCO)

Os resíduos de casca de ovo são subprodutos gerados em grande quantidade pela indústria alimentar avícola (GRAÇAS et al. 2012), e também, em menor quantidade, pelo setor da restauração e atividades domésticas (KING'ORI, 2011 *apud* SILVA, 2017).

O consumo de ovos é altamente expressivo em todo o mundo, e isso se deve principalmente por ser um alimento nutritivo, de preparação rápida e fácil e por ter um custo relativamente baixo, sendo assim acessível à maioria da população (GUEDES, 2014).

Os dez países que são os maiores produtores mundiais de ovos, se dispõem da seguinte forma: 1º lugar, a China (40%); 2º lugar, Estados Unidos (8%); 3º lugar, Índia (5%); 4º lugar, Japão (3,4%); 5º lugar, México (3%); 6º lugar, Brasil (3%); 7º lugar, Rússia (3%); 8º lugar, Indonésia (2%); 9º lugar, Ucrânia (2%) e em 10º, a Turquia (1%). Estes representam, no total, cerca de 70% da produção mundial total, segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (LUCAS, 2021).

No Brasil, segundo a ABPA (2019), 99,59% da produção de ovos é destinado ao mercado interno e apenas 0,4%, a exportação. O estado de São Paulo desponta como o maior produtor de ovos do país com 32,97% da produção brasileira.

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), a produção e o consumo de ovos em 2021 atingiram recordes históricos. A ABPA afirma que o país encerrou o ano com 54.503 bilhões de ovos produzidos ou o equivalente a 1.728 ovos por segundo, número 1,8% maior que em 2020. Cada brasileiro consumiu, em média, 255 ovos este ano, 1,55% a mais que em 2020, quando o consumo per capita anual foi de 251 unidades.

Destarte, o Brasil torna-se um gerador de enormes quantidades de resíduos de casca de ovo, derivados predominantemente, da indústria alimentícia. O alto consumo de ovos traz como consequência a expressiva geração de resíduos, já que muitas vezes as cascas são simplesmente descartadas no meio ambiente sem nenhuma preocupação e valorização (GUEDES, 2014).

Em relação à composição química da casca de ovo isso é uma questão para alguns autores. Para Caliman(2011) *apud* Gonçalves (2019), a casca de ovo é composta essencialmente por materiais cerâmicos, majoritariamente por carbonato de cálcio (94% em massa), e pequenas quantidades de matéria orgânica (4% em massa), fosfato de cálcio (1% em massa) e carbonato de magnésio (1% em massa). Neves (1998) acredita que há 96% de carbonato de cálcio, 1% de carbonato de magnésio e 1% de fosfato de cálcio. Há uma convergência entre os autores, Brostow *et al.* (1999) disserta que há 94% de carbonato de cálcio, 1% de carbonato de magnésio, 1% de fosfato de cálcio e 4% de matéria orgânica. Já Freire *et al.* (2008) afirmam que há 95% de carbonato de cálcio e 5% de matéria orgânica.

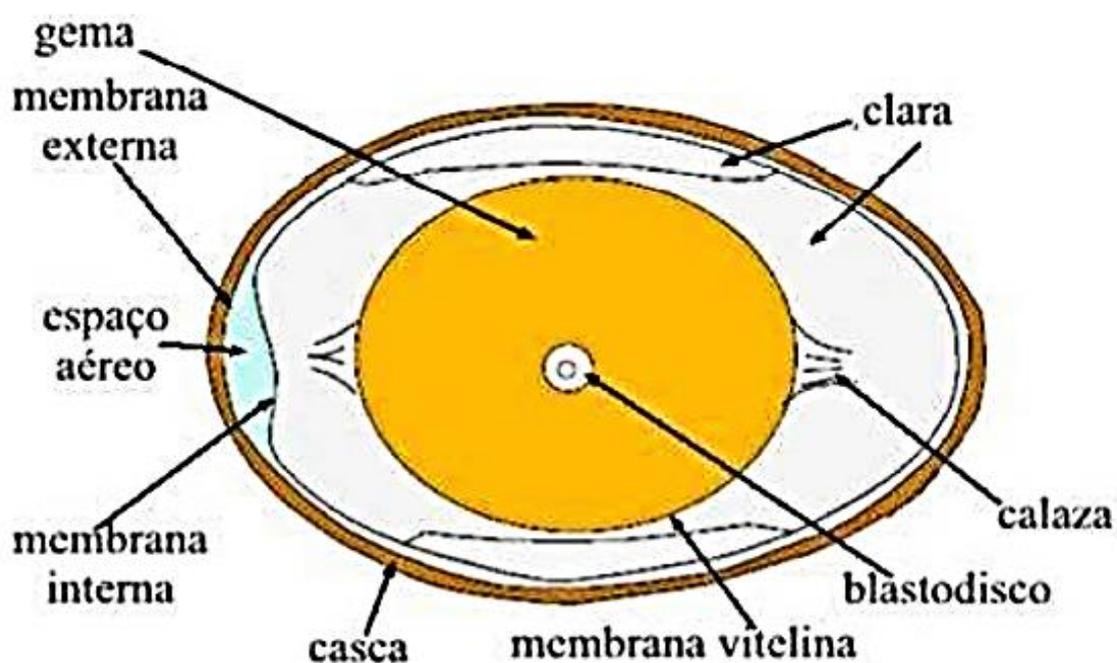
A casca é um composto biocerâmico de estrutura extracelularmente reunida, cuja função é proteger o conteúdo do ovo e garantir o cálcio necessário a formação do esqueleto do pintinho. A casca do ovo é composta por várias camadas porosas, sendo permeável à água e aos gases, o que permite a respiração do embrião (TINOCO, 1983 *apud* NEVES, 1998). A casca constitui uma barreira protetora, inclusive contra a penetração de microrganismos (THAPON *et al.* BOURGEOIS, 1994; BRAKE *et al.* 1997 *apud* NEVES, 1998).

A casca de ovo é composta por uma camada de carbonato de cálcio e de duas partes orgânicas, membrana e cutícula. Também contém de 7.000 a 17.000 canais de poros, os quais são dispostos de forma irregular em sua superfície, para a realização

de trocas de gases e águas, conforme a Figura 1 (LACA et al. 2017 *apud* GONÇALVES, 2019).

O interior da casca do ovo é revestido por duas membranas (interna e externa) que apenas podem ser diferenciadas na zona do espaço aéreo (parte mais larga do ovo), conforme a Figura 1.

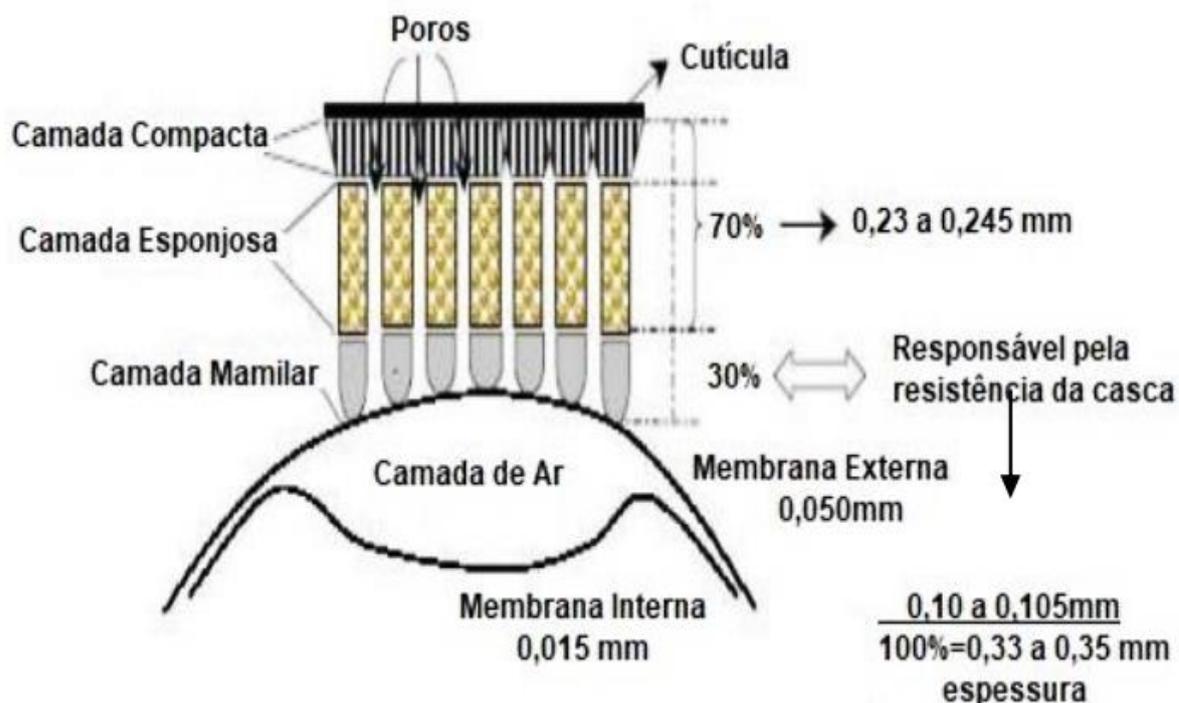
Figura 1 :Esquemática da seção transversal de um ovo de ave.



Fonte: Bigno, 2008

De acordo com Neves (2005), o ovo pode ser dividido em camadas: Interna – camada mamilar (~100 μm) que cresce na membrana externa do ovo e cria base na qual a camada esponjosa, parte mais espessa da casca do ovo (~200 μm), se constitui; Superior – camada vertical compacta (~5-8 μm) coberta pela cutícula orgânica (fina película) que é formada por uma camada proteica que serve como agente impermeabilizante e como uma barreira anti-bacteriana e mata-fungos, mostrado na Figura 2.

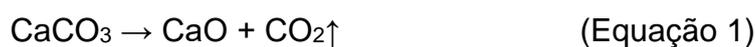
Figura 2: Desenho esquemático da casca do ovo.



Fonte: Neves, 2005.

De acordo com Neves (2005), o principal componente da casca do ovo é a calcita (CaCO_3), possuindo ainda magnésio (Mg), fosfato (PO_4^{3-}) e cloro (Cl), além de alguns outros elementos. Consiste de várias camadas mutuamente entrelaçadas de CaCO_3 .

O CaCO_3 é uma importante fonte de óxido de cálcio, componente essencial para se obter o silicato de cálcio, pois em temperaturas elevadas, entre 800 °C a 900 °C, as partículas de carbonato de cálcio se decompõem em óxido de cálcio (CaO) e gás carbônico (CO_2), segundo a Equação 1 (MELCHIADES et al. 2001 *apud* GUEDES, 2014).



Segundo (DURRANT, 1964 *apud* NEVES, 1998) o carbonato de cálcio, maior constituinte da casca, se caracteriza como um cristal amorfo que ocorre naturalmente na forma de calcita (cristais hexagonais) e que apresenta baixa solubilidade em água: 1 litro de água à 18 °C dissolve 13 mg de calcita. Os cristais de calcita encontram-se

naturalmente em rochas calcárias, ossos e casca de ovos.

Segundo Oliveira e Prado (2007) a casca de ovo é vista como um agente poluidor do meio ambiente, sendo pouco valorizada, mas que representa um valor econômico expressivo, quando bem empregado, representa um fator de grande potencial econômico, podendo diminuir o impacto ambiental sobre as reservas naturais de rochas calcárias, por ser uma fonte alternativa de CaCO_3 (carbonato de cálcio). Considerando que o resíduo é uma fonte natural não renovável, este surge como alternativa de redução de poluição e redução do descarte inadequado dos resíduos ao meio ambiente, minimizando os problemas de saúde pública.

Diversos autores tem-se mostrado interessado, em estudos relacionados a incorporação de resíduos de casca de ovo em argamassas, especificamente cimentícias, aplicando resíduos em substituição parcial do agregado, sendo identificados também a substituição do calcário mineral do cimento Portland por calcário de casca de ovo.

No estudo realizado por (BENICI et al., 2015 *apud* SILVA, 2017), realizaram-se várias formulações de argamassas de cimento com substituição parcial de areia (agregado) por casca de ovo e foi possível avaliar a resistência à compressão, a tração por flexão e ao ataque por sulfato e os coeficientes de absorção por radiação.

Já no trabalho de Beraldo e Nagumo (2004), foi estudada a possibilidade de aplicar o resíduo de casca de ovo como agregado em argamassas de cimento e areia. Através desse estudo, concluiu-se que o composto de cimento, e areia e casca de ovo pode ser considerado como leve esse estudo, que o compósito de cimento, areia e casca pode ser considerado como leve (cerca de 1100 kg/m^3) e que é passível de ser utilizado em divisórias e forros através de placas e tijolos.

Os autores Raji e Samuel (2015), testaram o uso de resíduos de casca de ovo em concretos, substituindo o agregado fino totalmente pela casca de ovo, concluíram que o resíduo de casca de ovo não pode ser utilizado na substituição total do agregado, visto que a resistência fica comprometida.

Nos estudos realizados por Pliya e Cree (2015) *apud* Cardoso (2017), mostraram que as argamassas analisadas, em que o cimento Portland foi parcialmente substituído por calcário mineral natural e casca de ovo branca e castanha, o calcário de casca de ovo não é suficiente para manter a resistência à compressão e a flexão das argamassas.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Neste capítulo são descritos os materiais necessários e os procedimentos metodológicos utilizados para execução dos ensaios técnicos, que envolvem diversas etapas relacionadas tanto com as matérias-primas, quanto aos processamentos de ensaios utilizados. Para esta pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica em livros, dissertações, teses, revistas especializadas e artigos científicos pertinentes ao tema. Os ensaios nos materiais foram realizados no Laboratório de Materiais da Construção Civil da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Campus Sertão, tendo como referência as normas brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para alcançar-se o objetivo proposto na pesquisa, as argamassas foram produzidas seguindo o padrão de traço volumétrico de 1:2:8 (cimento:cal:agregado miúdo), tendo como referência Carasek (2010) e o trabalho de Silva(2017). A quantidade de água utilizada na produção das argamassas foi determinada através do índice de consistência utilizando a mesa flow table seguindo as prescrições da NBR 13276 (ABNT, 1995).

Foi produzida uma amostra como referência e mais três amostras contendo casca de ovo com porcentagem de substituição : 10%, 20% e 30% do volume do cimento Portland por pó de casca de ovo.As porcentagem de substituição, foram ,inspirados nos trabalhos de Silva(2017), a fim de testá-los em relação a sua resistência à tração na flexão e à compressão ,a absorção de água e o índice de consistência.

3.1 Materiais Utilizados

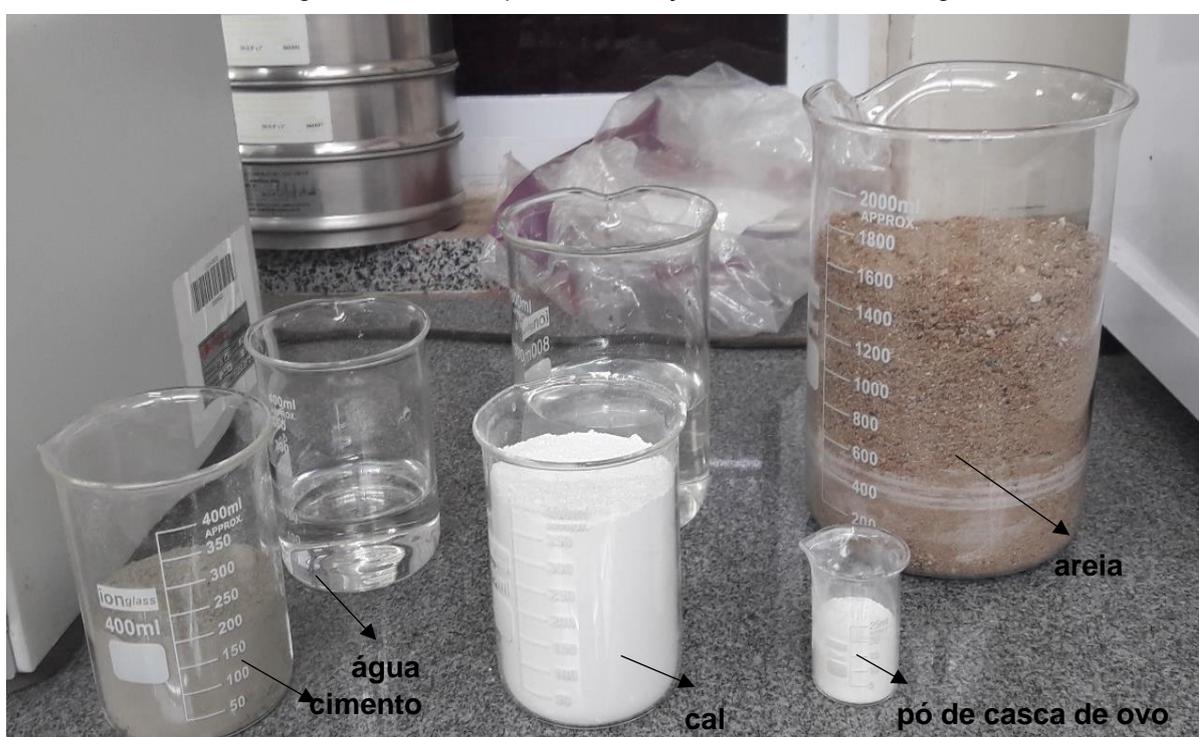
Os materiais utilizados para a o processo de fabricação da argamassa estão apresentados na Figura 3, com descrição no Quadro 6.

Quadro 6 – Materiais utilizados

MATERIAL	DESCRIÇÃO
Areia	Lavada(diâmetro máximo 4,80 mm)
Cimento Portland	CP II Z 32Mpa
Cal	Hidratada CH-I Aditivada
Resíduo de casca ovo	Pó de casca de ovo
Aditivo	Plastificante

Fonte: Autora

Figura 3: Materiais para a realização de ensaios com argamassa



Fonte: Autora.

3.1.1 Preparação das cascas do ovo

As cascas de ovos utilizadas são de resíduos domésticos, onde passaram por um processo de higienização e preparo conforme as etapas descritas a seguir:

Pré-Tratamento – Para a limpeza do material, colocava-se a porção do resíduo de casca de ovo submersa em água potável por 12h, para facilitar a remoção da membrana interna que se encontra anexa ao material mais rígido da casca de ovo. Após a retirada da membrana, os resíduos de casca de ovos eram lavados para

eliminação de possíveis restos de membrana. Depois desse processo de limpeza, os resíduos passavam por um processo de secagem de 2 dias ao ar livre, a fim de eliminar a umidade presente no material. Vale ressaltar, que os tempos adotados neste procedimento seu em processos de tentativa A Figura 4, mostra o processo de retirada da película e a Figura 5 apresenta o material exposto ao sol para secagem.

Figura 4: Retirada da membrana da casca de ovo.



Fonte: Autora.

Figura 5: Secagem do resíduo.



Fonte: Autora

Obtenção do pó de cascas de ovos: Com as cascas secas, foram trituradas no liquidificador por 30 min, intercalados com pausa de 5 min, a fim de averiguar a redução do tamanho das partículas. O equipamento utilizado para trituração foi Multiprocessador com Liquidificador (600 W). Estas etapas podem ser observadas na Figura 6.

Figura 6: a) Equipamento usado para moagem; b) Casca de ovo após moagem



Fonte: Autora

3.2 Análise Granulométrica

Para a análise granulométrica da areia, foram seguidas as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003). Foi separada uma amostra de aproximadamente 500 g (Figura 9), em seguida, a amostra segue para o peneiramento manual, e as peneiras foram usadas na seguinte ordem decrescente: 4,80 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; 0,15 mm e o fundo. Após o peneiramento em cada peneira, foram medidas as massas que ficaram retidas e, por fim, a massa do fundo. Após verificação

de todas as massas, os valores foram expressos em porcentagem, e criadas a curva granulométrica. A figura 7 ilustra uma das etapas do ensaio.

Figura 7: Pesagem da amostra de areia.



Fonte : Autora

3.3 Produção das Argamassas

Tomando por base o traço estabelecido no experimento (1:2:8) em volume, os materiais constituintes tiveram as seguintes proporções: 200 mL de cimento, 400 mL de cal e 1600 mL de areia. O volume de água adicionada à mistura foi determinado por tentativa e erro a partir do índice de consistência, sendo necessário que este índice seja alcançado para obtenção dos demais parâmetros. O padrão de consistência para argamassa é no intervalo de (260 ± 5) mm, conforme especificação da norma técnica 13276 (ABNT, 1995).

Vale ressaltar que as argamassa alternativa contento pó de residuo de casa de ovo estiveram substituindo em: 10%, 20% e 30% nos percentuais do cimento.

As argamassas foram preparadas de acordo as recomendações estabelecidas

pela NBR 16541 (ABNT, 2016).

Inicialmente, foram colocados no misturador mecânico (argamassadeira) todos os materiais secos, em seguida foi acionado o misturador na velocidade baixa e adicionado 75 % da água de mistura à argamassa (com uma proveta ou recipiente similar) nos 10 s iniciais, misturando até completar o tempo de 30 s, desde o acionamento do misturador. Após esses tempos, foi mudada a velocidade para alta e misturado por mais 60 s. Dando continuidade, foi parado o misturador, retirado a pá de mistura e raspado toda a superfície interna e da pá. Concluída tal etapa, foi recolocada a pá em um intervalo de 90 s. Lembrando que a cuba foi retirada do misturador para realizar o procedimento de raspagem. Para etapa final, foi acionado o misturador na velocidade baixa e adicionado o restante da água (25 %) em 10 s, continuando a mistura até completar 60 s. A Figura 8 mostra etapas para o preparo das argamassas. Destaca-se que todos os ensaios realizados com as argamassas seguiram esse mesmo procedimento de mistura e homogeneização de amostras.

Figura 8 : Etapas de mistura e preparo das argamassas



Fonte: Autora

3.4 Ensaios Realizados

Os ensaios realizados são descritos nas abordagens a seguir, assim há uma descrição detalhada de cada método executivo dos ensaios presentes no trabalho. São eles: ensaio de consistência, determinação da resistência à tração na flexão, determinação da resistência à compressão e determinação da absorção de água por capilaridade.

3.4.1 Determinação do índice de consistência

O índice de consistência das argamassas foi determinado através do ensaio de mesa de consistência (*flow-table*), conforme especifica a NBR 13276 (ABNT, 2016).

O ensaio consiste em preencher o molde tronco cônico colocado no centro da mesa para índice de consistência. Deve-se preencher o molde em três camadas sucessivas, de altura aproximadamente iguais e aplicar em cada uma delas, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, com objetivo de distribuí-las uniformemente. Faz-se o rasamento da argamassa com o auxílio de uma régua metálica.

Em seguida, retira o molde metálico e aciona-se então a manivela da mesa, de modo que suba e caia 30 vezes (30 quedas em 30 segundos). Imediatamente após a queda, com o paquímetro, deve-se realizar a medida de três diâmetros em pontos distintos. O resultado do índice de consistência é a média dos três valores e indica uma tendência da trabalhabilidade das argamassas estudadas, ou seja, quanto maior o índice de consistência, maior a trabalhabilidade desse material.

Conforme estabelecido pela norma, a consistência deve ficar compreendida entre (260 ± 5) mm. A Figura 9 ilustra os equipamentos usados nesse ensaio.

Figura 9: a) Argamassa recém-preparada e inserida no molde sob a mesa de adensamento; b) Massa na mesa de adensamento após remoção do molde.



Fonte : Autora

3.4.1.1 Moldagem dos corpos de prova

Para a moldagem dos corpos de prova prismáticos, foram seguidas as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005). Os moldes prismáticos foram colocados sobre a mesa de adensamento, fixando-os adequadamente. Feito isso, foi aplicada uma fina camada de óleo mineral como desmoldante nas faces internas dos moldes.

Após a validação das argamassas no ensaio de consistência, foi colocada uma camada de argamassa no molde e feito o espalhamento em cada compartimento com o auxílio do nivelador, em seguida são aplicadas 30 quedas na mesa de adensamento. Logo após, preenche novamente os compartimentos do molde com uma segunda camada da argamassa e faz o espalhamento com o auxílio do nivelador de camadas, e, novamente, são aplicadas mais 30 quedas na mesa de adensamento.

Por fim, os corpos de prova ficaram nos moldes por 48 ± 24 horas, para depois

serem desformados. Os corpos de prova prismáticos confeccionados tinham dimensões de 4cm x 4cm x 16 cm, conforme exigências das normas correntes de argamassas. Neste trabalho, foram confeccionados, para cada tipo de argamassa 6 corpos de prova, 3 para idade de 7 dias e 3 para idade de 28 dias. A moldagem dos corpos de prova está ilustradas na Figura 12 e 13.

Figura 10: Moldagem corpos de prova.



Fonte: Autora

Figura 11: Cura ao ambiente de corpos de prova.



Fonte : Autora

3.4.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

A realização destes ensaios segue os critérios da norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Os ensaios dos corpos de prova ocorreram em idades de 7 e 28 dias, sendo moldados três corpos de prova para cada idade. O equipamento foi a Prensa Marshall/CBR adaptada. A Figura 12 ilustra o equipamento e o material usado no ensaio.

Figura 12: a) Máquina usada para ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão;b) Material para a execução do ensaio.



Fonte: Autora

Para a determinação da resistência à tração na flexão, primeiramente foram executadas marcações de 3 cm de distâncias das duas extremidades e um no centro, cuja função é facilitar o posicionamento do corpo de prova com o apoio na máquina. Em seguida, os corpos de prova foram posicionados nos dispositivos de apoio do

equipamento de ensaio, de modo que a face rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio. A Figura 13 ilustra o procedimento do ensaio sendo realizado.

Segundo as recomendações normativas, na realização do ensaio deve ser aplicada uma carga de 50 ± 10 N/s até ocorrer a ruptura do corpo-de-prova.

Figura 13: a) Posicionamento do corpo de prova na máquina; b) Rompimento do corpo de prova por resistência à tração na flexão.



Fonte: Autora

Para a determinação da resistência à compressão das argamassas, foram utilizadas as metades dos corpos de prova do ensaio da flexão. O equipamento foi o mesmo usado no ensaio de resistência à tração na flexão.

O corpo de prova foi posicionado nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio, de modo que a face rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio ou com os dispositivos de carga. Em seguida, a carga aplicada em cada amostra foi de (500 ± 50) N/s até ocorrer à ruptura dos corpos de prova. A Figura 14 mostra o

corpo de prova posicionado para o ensaio.

Figura 14: a) Posicionamento do corpo de prova na máquina; b) Rompimento do corpo de prova por resistência à compressão; c) Fragmentos do corpo de prova.



Fonte : Autora

A resistência à tração na flexão em cada corpo de prova foi calculada segundo a Equação 1:

$$R_f = \frac{1,5 * F_f * L}{40^3} \quad (1)$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão (MPa); F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N) e L é a distância entre os suportes (mm).

A resistência à compressão em cada corpo de prova foi calculada segundo a Equação 2.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

Onde:

R_c é a resistência à compressão, em MPa; F_c é a carga máxima aplicada, em N e 1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados.

3.4.3 Determinação da absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005), que além de apresentar os procedimentos para a determinação da absorção de água por capilaridade, especifica a determinação do coeficiente de capilaridade para argamassas de revestimentos. São ensaiados 3 corpos de prova com idade de 28 dias e dimensões de 4 x 4 x 16 cm moldados conforme NBR 15259 (ABNT, 2005).

Conforme prescrição normativa, foram determinadas as massas de cada corpo de prova, em gramas. Inicialmente e a partir da colocação dos corpos de prova em contato com nível de água constante (5 ± 1) mm, conforme figura 17, determinou-se novamente a massa aos 10 min e aos 90 min. A absorção de água por capilaridade foi calculada para cada tempo, sendo expressa em gramas por centímetros quadrados (g/cm^2), dividindo a variação de massa pela área da seção transversal do corpo de prova em contato com a água, conforme Equação 3.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (3)$$

Onde:

A_t é a absorção por capilaridade, para cada tempo, aproximada ao centésimo mais próximo, em g/cm^2 ; m_t é a massa do corpo de prova em determinado momento (g); m_0 é a massa inicial do corpo de prova (g) e 16 é a área da seção transversal do corpo de prova em cm^2 .

O coeficiente de capilaridade é igual ao coeficiente angular da reta que passa pelos pontos representativos das determinações realizadas aos 10 e aos 90 minutos.

Pode ser calculado de acordo com a Equação 4:

$$C = (m_{90} - m_{10}) \quad (4)$$

Onde:

C – O coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$).

Figura 15: Ensaio de absorção de água por capilaridade



Fonte : Autora

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos para a série de ensaio descritos no capítulo anterior, tais como: consistência, resistência à tração, compressão e absorção por capilaridade, levando em consideração a dosagem das amostras e suas respectivas idades de cura.

4.1 Ensaio de Consistência

Este parâmetro é extremamente importante, pois argamassas muito fluídas ou muito rijas dificultarão o manuseio e sua aplicação. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados dos traços em estudo.

Tabela 1 - Índice de consistência das argamassas

AMOSTRAS	FATOR ÁGUA/CIMENTO	VOLUME DE ADITIVO (ml)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA(mm)
REF	2,75	0	257
AR-10%	2,75	0	256
AR-20%	2,75	0	256
AR-30%	2,75	15	262

Fonte: Autora

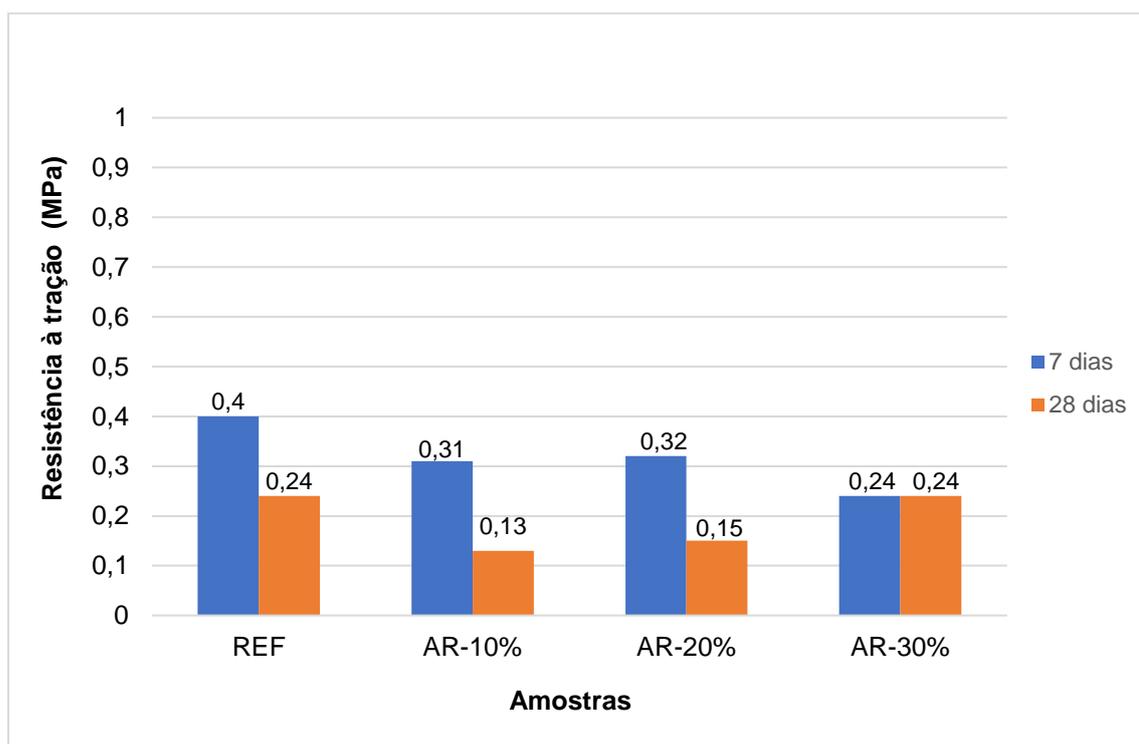
Analisando os resultados, pode-se perceber que a argamassa AR-30% teve maior variação em relação a REF, devido à falta de coesão entre as partículas dos agregados, para melhorar a consistência da argamassa houve a necessidade de adição do aditivo plastificante, necessário para garantir o espalhamento nos padrões normativos. Os resultados AR-10% e AR-20% ficaram mais próximos da REF sofrendo uma pequena diminuição. É possível observar que à medida que se aumenta a porcentagem se não houver correção no teor de água, a consistência tende a diminuir.

Todas as amostras ficaram dentro do padrão estabelecido pela norma que é de 260 ± 5 mm, sendo aptas para serem utilizadas nos ensaios estabelecidos neste trabalho.

4.2 Resistência à Tração na Flexão e à Compressão

A seguir são mostrados os resultados de Resistência à Tração na Flexão e resistência à compressão das argamassas aos 7 e 28 dias de cura. O Gráfico 1 apresenta os resultados de resistência à tração.

Gráfico 1 - Resistência à tração na flexão



Fonte: Autora

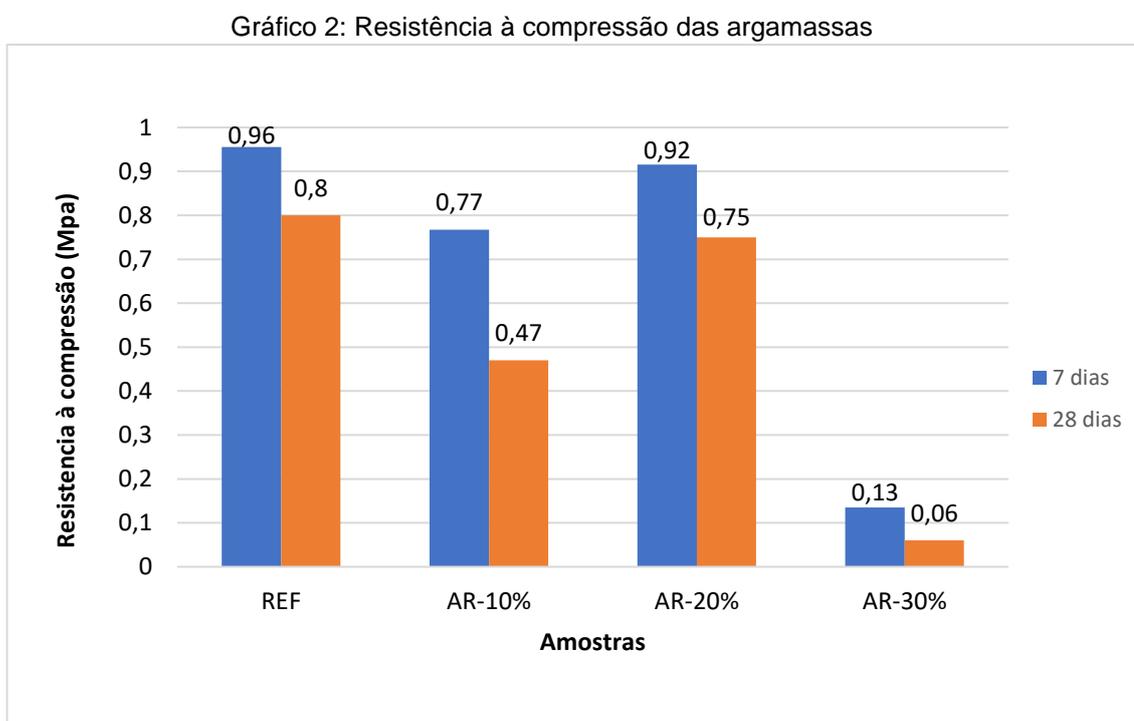
De acordo com os resultados apresentados no gráfico 1, pode-se perceber que para a idade de 7 dias, verificou-se que a amostra REF sofreu uma queda de mais de 66% comparada com amostra AR-30% e uma queda de 25% em relação a AR-20% e 29% comparada com a AR-10%. Para a idade de 28 dias, verifica-se que não houve nenhuma variação entre a argamassa com o aditivo AR-30% e a de referência de REF

, porém, comparada com as outras amostras a REF perde resistência de 60% para a AR-20%, e perde resistência de 84,6% para a AER-10% e apresenta o pior resultado.

A razão de isso ter ocorrido se dá devido , a resistência mecânica da argamassa é predominantemente dominada pela resistência da pasta (cimento+água). Sendo assim, ao retirar-se uma parcela desse cimento e substituir por outro material que não tenha essa mesma propriedade, a resistência mecânica da mistura pode ser reduzida, pois o cimento que opera como ligante entre as partículas de agregados submetidas à tração na flexão. Entretanto, o resíduo em substituição não confere esta propriedade .A substituição fez com que houvesse a falta de material ligante e excesso de finos sem reação na argamassa.

Em geral, os valores das resistências à tração na flexão com substituição do resíduo de casca de ovo encontram-se a maioria abaixo da resistência da argamassa de referência. Entre as argamassas ensaiadas, todas obtiveram resultados menores que de 1,5 MPa, ficando enquadrada como R1, de acordo com a tabela 3 da NBR 13281 (ABNT, 2005).

O gráfico 2 apresenta os resultados da resistência à compressão das argamassas para as idades de 7 e 28 dias.



As amostras com a substituição parcial do cimento por resíduo de casca de ovo apresentaram diminuição na resistência à compressão em comparação à referência REF. Aos 7 dias, em relação a argamassa REF, houve uma perda de 19,79% na AR-10%, 4,16% na AR-20% e 86,45% na AR-30%.

Analisando as amostras para 28 dias, percebe-se que AR-30% apresentou os piores resultados para todas as idades tendo uma perda de mais de 92,5%. Entretanto, obtiveram pouca variação da resistência entre a amostra AR-20%, perdendo 6,25% de sua resistência. Quanto a AR-10%, houve perda de resistência de 41,25% aos 28 dias em comparação a REF.

A substituição do cimento por RCO influenciou negativamente nas propriedades mecânicas da argamassa. Esse fato pode ser justificado pela granulometria do resíduo em apresentar uma granulometria mais grosseira que os demais aglomerantes e tende a provocar na argamassa maior teor de vazios, diminuindo a plasticidade da massa.

4.3 Absorção por Capilaridade

Os resultados obtidos para o ensaio de absorção e coeficiente de capilaridade são exibidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Absorção de água e coeficiente de capilaridade

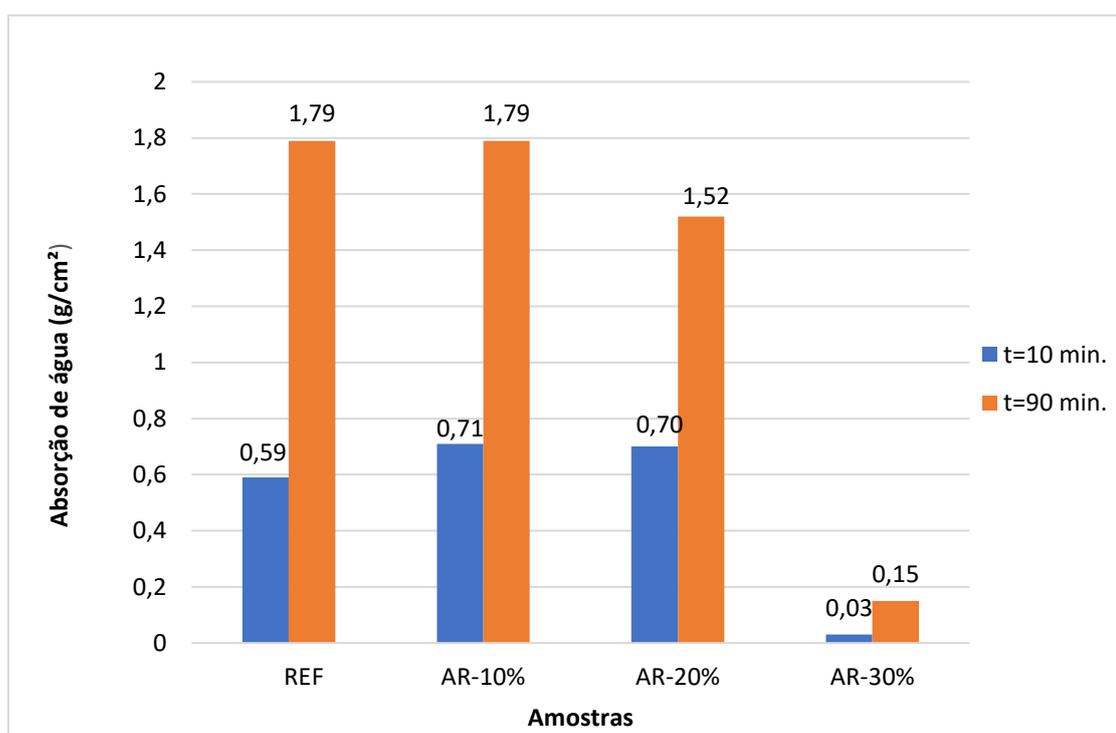
AMOSTRAS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (g/cm ²)		COEFICIENTE DE CAPILARIDADE (g/dm ² .min ^{1/2})
	t = 10min	t = 90 min	
REF	0,59	1,79	1,2
AR-10%	0,71	1,79	1,08
AR-20%	0,70	1,52	0,82
AR-30%	0,03	0,15	AR-30%

Fonte : Autora

De acordo com a tabela, a maior variação de absorção de água ocorreu para amostra AR-30%, onde apresenta maior quantidade de partículas com granulometrias diferenciadas, fazendo com que haja um maior preenchimento dos vazios entre elas,

de modo que a porosidade diminua, e conseqüentemente a absorção de água. O gráfico 3 apresenta os resultados da absorção de água.

Gráfico 3: Absorção de água

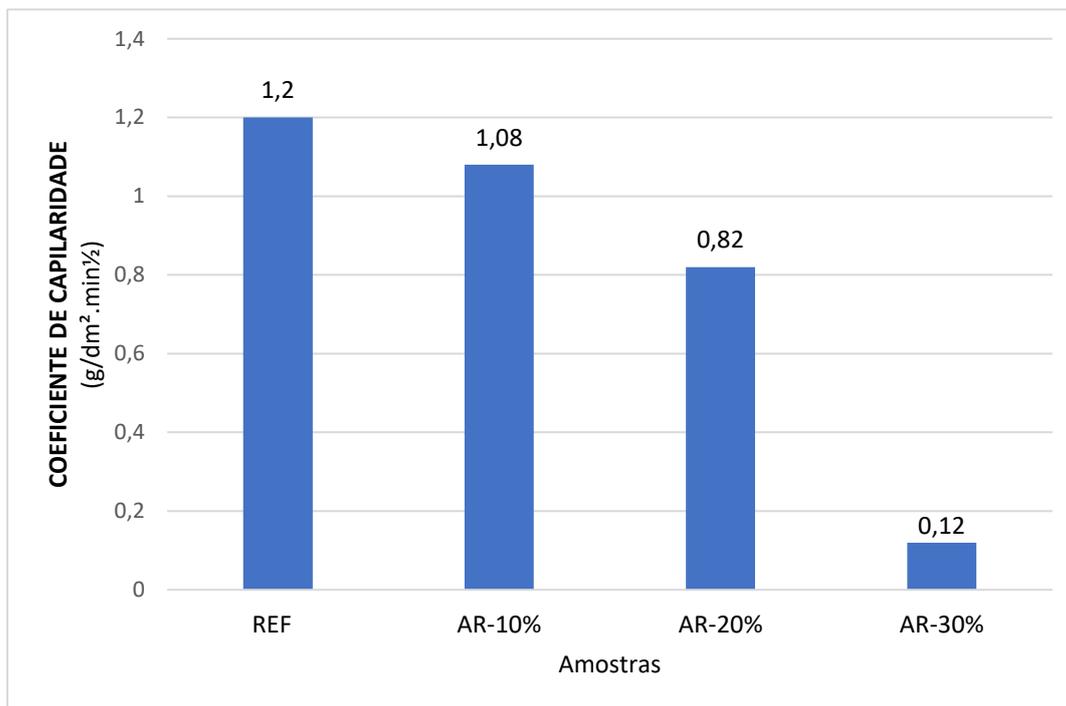


Fonte : Autora

Considerando as análises de absorção de água por capilaridade nos corpos de prova, constata-se ao tempo de 10 min em relação a amostra de REF, houve um aumento de 20% em comparação a AR-10% e 18,6% para a AR-20%. Porém, em relação a AR-30%, teve uma diminuição de mais de 94,9%. Aos 90 min, não houve variação para a amostra AR-10%, mas há redução para as outras amostras: 15% para AR-20% e 91,6% para AR-30%.

O gráfico 4 apresenta os resultados do coeficiente de capilaridade para cada traço.

Gráfico 4: Coeficiente de capilaridade



Fonte: Autora

Em relação ao coeficiente de capilaridade, como mostra o Gráfico 4, todas as amostras apresentaram valores menores que a REF. No geral, conclui-se que a introdução de casca de ovo nas argamassas diminui o seu coeficiente de capilaridade. É possível afirmar que essa situação pode estar relacionada com as características químicas da casca de ovo, que como já foi citado, é predominantemente formada por carbonato de cálcio, e apresenta uma estrutura porosa natural, conferindo-lhe assim a propriedade de proteção contra a penetração da água, ao mesmo tempo que permite trocas gasosas.

5 CONCLUSÕES

Considerando que os objetivos dessa pesquisa eram avaliar a utilização de resíduos de casca de ovo em substituição parcial do cimento, através de ensaios de índice de consistência, tração na flexão, de compressão e coeficiente capilaridade, tendo em vista os meios técnicos para a execução desta investigação, considera-se que a substituição do cimento por resíduo de casca de ovo influenciou negativamente em algumas propriedades técnicas mecânicas das argamassas.

De acordo com os resultados obtidos, percebeu-se que o aumento do resíduo de casca de ovo, sem a associação com o uso do aditivo, tende a perda da trabalhabilidade da argamassa. Para os resultados de resistência à tração na flexão, todas as argamassas confeccionadas com teor de resíduo obtiveram resultados menor ou igual a amostra de referência. A amostra AR-30% foi a que obteve resistência igual a de referência durante os 28 dias de cura.

Em relação à resistência à compressão, também se observou diminuição para todas as amostras, sendo a AR-30% o pior resultado, com perda de até 92,5% aos 28 dias e, a menor para AR -20% com perda de 4,16% de resistência aos 7 dias. Logo, o resíduo não trouxe nenhuma melhoria para o desempenho mecânico das amostras.

Nos ensaios da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, estas se mantiveram abaixo das argamassas de referência, manifestando uma tendência de decréscimo a medida que aumenta os teores de substituição do resíduo, provocado possivelmente pelo aumento do teor de material inerte, faltando adesão interna suficiente para o fechamento dos poros.

Desta forma, ao término desta pesquisa, concluiu-se que os objetivos, inicialmente propostos, foram alcançados. Visto que o estudo permitiu obter um maior conhecimento a cerca do comportamento deste tipo de resíduo adicionado a argamassa e possibilitou a identificação das diferenças de comportamento entre as diversas formulações estudadas. Sendo assim, é possível afirmar que os resultados obtidos permitirão a comparação, não só com dados da bibliografia já existentes, mas também permite estabelecer uma base para futuros estudos, tais como avaliar situações em que os requisitos mecânicos sejam menos relevantes. Uma vez que considerando a quantidade de resíduos de casca de ovo produzidas e não aproveitadas, torna-se evidente que existe uma necessidade de solução

economicamente viável para que essa quantidade de resíduos não seja despejada no meio ambiente.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- ✓ Analisar o comportamento de argamassa com resíduo de casca de ovo em que sejam aplicados aditivos ou adjuvantes, para aumentar a sua resistência;
- ✓ Realizar um estudo de porosidade de argamassas produzidas com resíduos pra baixas relações água/ cimento ;
- ✓ Testados outros traços de formulação, eventualmente utilizando diferentes granulometrias de agregados, diferentes porcentagens de resíduos de casca de ovo.
- ✓ Realizar um comparativo entre formulações com o uso de resíduo de casca de ovo in natura e o resíduo de casca de ovo calcinado na preparação da argamassa.
- ✓ Avaliar a absorção de água de argamassas incorporadas com teores de resíduos de casca de ovo mais elevados do que os utilizados neste estudo.
- ✓ Estudar o comportamento acústico de argamassas com resíduos de casca de ovo ;
- ✓ Investigar a exequibilidade de painéis de argamassa leve com resíduos de casca de ovo , em que só façam parte dos seus constituintes a casca de ovo e o cimento;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V; SAVASTNO JÚNIOR, H. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais e suas aplicações**. In: Freire, Wesley Jorge ; Beraldo, Antonio Ludovico (*), coord. Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas : Editora da UNICAMP, 2003. P.121-144.

AGOSTINHO, C. S. (2008). "**Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea**". Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

ALMEIDA, T. F. **Síntese e Caracterização de Biocimento de Fosfato de Cálcio Usando Resíduo de Mármore**, 2018. Tese (Doutorado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2018.

ALVES, Anna Rosa Ghedin; OLIVEIRA, Lara Miriam de Medeiros. **Gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos e a consequente minimização dos impactos causados ao meio ambiente**. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) . Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2019.

ANTUNES, Elaine G. P.; Padilha, Lilian. **ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PROPRIEDADES MECÂNICAS DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO E AGREGADO POR CINZAS DE CARVÃO VAPOR**. 2017. Artigo (Curso de Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.

ARAÚJO, V. S., **Gestão de Resíduos Especiais em Universidades: Um estudo de caso** da Universidade Federal de São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200: Revestimentos de paredes e tetos em argamassa inorgânica – Materiais, preparo, aplicação e manutenção**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregado para concreto — especificação**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004- Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253: Solocimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2012. 3p.

ABNT – 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.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT- 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: ABNT, 2005.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-3: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 3: Aderência superficial.** Rio de Janeiro, 2019.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.** Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios.** Rio de Janeiro, 2016.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 137: Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.** Rio de Janeiro, 1997.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2014. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2014/>. Acesso em: 20/07/ 2021.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2016**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/> .Acessado em: 21/07/2021.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2017**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download/panorama2017.pdf>. Acesso em: 20/07/ 2021

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2020**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama2020.pdf> . Acesso em: 17/07/ 2021.

ABPA -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL . **Relatório Anual 2021**. 2021. Disponível em: <http://abpa-br.org/abpa-lanca-relatorioanual-2021/> . Acesso em: 26/10/2021.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4ª edição, O nome da rosa editora Ltda .São Paulo/SP, 2008.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva 2007.

BARRETO, I. M. C. B. do N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Sergipe: Sinduscon, 2005.

BAUER, E.; SOUZA, J.G.G. **Materiais Constituintes e suas Funções**. In: **BAUER, E. (Ed) Revestimentos de Argamassas: Características e Peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon, 2005.

BEDIN, C.A.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L. **Alvenaria Estrutural de Blocos de concreto**. Editora Gráfica Pallotti. Florianópolis, 2003.

BERALDO, A. L., & NAGUMO, C. H. (2004). "**Compósito Casca de Ovo e Argamassa de Cimento Portland**". ICTR 2004 - Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, Costão do Santinho – Florianópolis - Santa Catarina. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/01/01-012.pdf>. Acessado em: 24/07/2021.

BENICIO, M. A Virada Digital - **Smart Cities e Smart Grids em uma Perspectiva Multidisciplinar**. Rio de Janeiro - RJ: Editora Interciência, 2018. 341 p.

BIGNO, Izabella Castro. **GEOPOLÍMEROS À BASE DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGROINDUSTRIAIS**. 2008. 280 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.

BORGES, Leonardo Araújo. "**REVESTIMENTO EM ARGAMASSA: SOLUÇÃO ECONÔMICA PARA UMA OBRA MAIS SUSTENTÁVEL**".Disponível em: pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/85.pdf <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9AEJVF> . Acessado em: 14/07/2021.

BOSCOV, Maria E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248 p.

BRASIL. LEI nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acessado em: 14/07/2021.

BRITO, Benito Guimarães de et al. **Produção e curiosidades sobre o ovo**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2021. 26 p.

BRIZOLA, R. M. **Microestrutura do cobrimento de concretos com altos teores de escória e cinza volante ativadas por cimento Portland e cal hidratada**. Santa Maria, 2007. 178 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/gepecon/Brizola.pdf> . Acesso em: 11 nov. 2022.

BUSCH P. F. **Efeito da Incorporação de Resíduo do Processamento de Lapidação de Vidro sodocálcico nas Propriedades Físicas e Mecânicas de Cerâmica Vermelha**, 2016 Dissertação (Mestrado) Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

CARASEK, H. Argamassas. In: **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ed. G. C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. cap.26, p.863-903.

CARASEK, Helena. Argamassas. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-941.

CARASEK, H; CASCUDO, O; SCARTEZINI, L M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, IV, Brasília, 23 a 25 de maio de 2001. Anais. PECC/ANTAC. Brasília: 2001, p.43 a 67.

CARDOSO, Clarisse Helena Costa e Silva .**Valorização de resíduo de casca de ovo galináceo na obtenção de titanato de cálcio** / Clarisse Helena da Costa e Silva Cardoso Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos dos Goytacazes, 2017.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia-sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre**. Diss. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção. Projeto entulho bom**. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001.

CARVALHO JR., A. N., **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. Belo

Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005. 331p. (Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

CASAGRANDE, M.C ; SARTOR, M N; GOMES, V.;DELLA, V.P, HOTZA, D.; OLIVEIRA, A.P. N. (2008) **Reaproveitamento de Resíduos Sólidos industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico**. Cerâmica Industrial,vol.13 (1/2).

CAVANI, G. R.. Ensaio – **Revista de Tecnologia da Construção** – Téchne. São Paulo, n. 88, julho,2004.

CENPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem. **ANUÁRIO DA RECICLAGEM 2017-2018**. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/2-Anu%C3%A1rio-da-Reciclagem.pdf>. Acesso em : 20/08/2021.

CHAHUD, Eduardo. **Reciclagem de resíduos para a construção civil**. Fumec/FEA. Belo Horizonte: Universidade Fumec- Faculdade de Engenharia e Arquitetura, 2007. 456p.

COIMBRA, M. A.; LIBARDI, W.; MORELLI, M. R. **Estudo da influência de cimentos na fluência em concretos para a construção civil**. Cerâmica, Mar 2006, vol.52, no.321, p.98-104.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002.

CORTESE, T. T. P.; KNISS, C. T.; MACCARI, E. A. **Cidades Inteligentes e Sustentáveis**. Barueri - SP: Manole, 2017. 161 p.

COSTA,Luciana D. M. da. **Compatibilização de projetos e gerenciamento de resíduos como condições primordiais para a sustentabilidade das construções**. 73p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

COSTA,Karla Juliana Cordeiro. **Análise da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de fibrocimento na produção de argamassa de assentamento**. Monografia (Engenharia Civil) –Universidade Federal de Alagoas.Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2021.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural**. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realização**. São Paulo, v. 1, 2005. p. 345-379.

DAL RI, M. **Efeitos da adição de cal hidratada em concretos com altos teores de adição mineral na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto**. Dissertação. 2002. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS. 2002.

ECORESPONSE - **Qual o destino dos resíduos de construção civil?** . Disponível em <https://www.ecoresponse.com.br/blog/noticia-interna/residuos-construcao-civil-170> Disponível em: 26/11/2021

FERREIRA, Beatriz Bernardes Dias. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte ,2010.

FERREIRA, L.C. (2009). **Produção mais limpa no plano gerenciamento de resíduos sólidos em empresas de reparação de veículos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em engenharia de produção. UFTPR. Ponta Grossa.

FIORITO, antonio J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

FOLETTO, HOFFMANN, SCOPEL, LIMA, JAHN; **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. Departamento de Engenharia Química, UFSM – RS**. Quim. Nova, V. 28 N° 6, 2005, 1055-1060 pp.

GOLASZEWSKI, J. Interação cimento superplastificante em presença de escória granulada de alto forno. e-Mat – **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**. Vol. 2. n. 1. p. 105-116. Nov. 2005. Disponível em: [http://www.antac.org.br/emat/e-MAT-V2-N2/e-MAT-V2-N2-p105-116\(Res\).pdf](http://www.antac.org.br/emat/e-MAT-V2-N2/e-MAT-V2-N2-p105-116(Res).pdf). Acesso em: 11/11/2022.

GOMES, J. A. P.; LONGO, O. C. **Cidades inteligentes sob a perspectiva da sustentabilidade: Um desafio além da tecnologia**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 58805-58824, Aug. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/17958/14541>. Acessado em : 26/11/2021

GONÇALVES, Virginia Siqueira. **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL CERÂMICO POROSO À BASE DE ANORTITA USANDO RESÍDUO DE CASCA DE OVO**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro ,83p., 2019.

Graça, J., Carvalho, J., Araújo, J., Ribeiro, A., & Castro, F. (2012). "**Valorização de Resíduos - Áreas de Investigação e de Desenvolvimento tecnológico do CVR**". Disponível em: https://www.cvresiduos.pt/fileManager/publicacoes/pdf_pt_8.pdf. Acesso em: 11/09/2021.

GUEDES, F.H. **Reaproveitamento de resíduo de casca de ovo e chamote na produção de material cerâmico para isolamento térmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, 103p., 2014

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. **A Cal – Fundamentos e Aplicações na Engenharia**. 2.ed. São Paulo: Pini, 2002

GUIMARÃES, J. E. P.; GOMES, R. D.; SEABRA, M. A. **Guia das argamassas nas construções: construindo para sempre com cal hidratada**. 8. ed., São Paulo: ABPC - Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 2004. 39 p.

HENRIQUE, P. S. **Patologia em revestimentos argamassados - Estudo de caso. 2014.** Monografia (Especialização em Gestão de Avaliações e Perícias) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

ILLSTON, J. M., DOMONE, P. L. J. (2005) – **Construction materials their nature and behavior – Spon Press, third edition.** London and New York. Pg. 117-120.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil.** Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7669> . Acesso em: 18 /04/2021.

JURZE, D. A. S. Smart Cities: **As Cidades de Hoje e os Desafios de Amanhã.** 2018. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia da Informação, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2018. Disponível em :https://recil.ensinolusofona.pt/bitstream/10437/9526/1/DIOGO%20ALEXANDRE%20SANTOS%20JURZE_21405741.pdf. Acesso em: 06/07/2021.

LADEIRA, R.; VERA, L. A. R.; TRIGUEIROS, R. E. Gestão dos resíduos sólidos e logística reversa: um estudo de caso em uma organização do setor de construção civil . **Revista Gestão & Planejamento**, v. 15, n. 2, p. 283-304, 2014. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/33820/gestao-dos-residuos-solidos-e-logistica-reversa--um-estudo-de-caso-em-uma-organizacao-do-setor-de-construcao-civil--i/pt-br> . Acesso em: 06/07/2021.

LIMA, H. L. **Proposta de método para obtenção de índice da qualidade de segregação de resíduos da construção civil.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12059> . Acesso em: 23/09/2021.

LUCAS, A. S. **Top 10 maiores produtores de ovos do mundo.** [2021]. Disponível em: <https://top10mais.org/top-10-maiores-produtores-deovos-do-mundo/> . Acesso em: 30/08/2021.

LUNA, F. S. M. ; HOLANDA, J. N. F . **Reúso do resíduo de casca de ovo na obtenção de aluminato de cálcio via ativação mecânica.** Tese de doutorado- Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 115p., 2018

MARGALHA, M. G. **Argamassas: conservação e recuperação do patrimônio.** Universidade de Évora, Portugal, p. 32, s. d. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4969/1/Argamassas.pdf> . Acesso em: 18 /09/2021.

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil.** São Carlos -SP: RiMa, 2005.

MARQUES, Olivia Bazzetti; OLIVEIRA, Rafael Montanhini Soares de; PICANÇO, Aurélio Pessoa. **Resíduos de construção civil: geração e alternativas para reciclagem em um canteiro de obras de pequeno porte.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal , v. 10, n. 2, p. 143-156, mar/ abr. 2013. Disponível em:

<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=842>

Acesso em: 18/09/ 2021.

MARTINS, F. M.; MARTINS, J. M.; FERRACIN, Z. C.; CUNHA, C. J. **Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of kraft pulp and paper mill**. Science Direct, v. 147, p. 610-617, 2007.

MATIAS, G. (2014). **“Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica”**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, na especialidade de Construções, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal, Julho, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/26467> . Acesso em: 30/08/2021.

MAZIERO, R. ; CASTRO, B. D. ; RUBIO, J. C. C. . **Aproveitamento de casca de ovo na preparação de materiais compósitos**. In: Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019, Foz do Iguaçu (PR). Anais do 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/I-045.pdf> . Acesso em: 30/08/2021.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 2008. 573p.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**, Ver. Bras. Eng. Agric. Amb, 6 (2): 303-313, 2002.

MODLER, L. E.; RUPP, R. F.; PREDIGER, P. W.; BOEIRA, F. D. **Concreto bombeável com adição de finos basálticos** – Análise das características físicas. In: Congresso Brasileiro do Concreto - CBC, 49., Bento Gonçalves, 2007. Anais. São Paulo: IBRACON, 2007.

MORAES, Karoline Alves de Melo . **Otimização do uso de adições minerais para a produção de concreto auto-adensável**. 2010. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

MOREIRA, Paulo Henrique Moura. **Avaliação do comportamento da argamassa com a utilização de óxido de cálcio proveniente de cascas de ovo**. 2015. Monografia II (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Comunitária da Região de Chapecó - UNOCHAPECÓ, Chapecó, 2015.

NEVES, A. C. R. S. **Maximização do fluxo operacional em incubatórios comerciais**. VII Simpósio Goiano de Avicultura e II Simpósio Goiano de Suinocultura – Avesui Centro-Oeste Seminários Técnicos de Avicultura. Goiânia – GO. 13, 14 e 15 de setembro/2005, p. 1-8. Disponível em: www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=publicacoes&cod_publicacao=497. Acessado em 18/09/2021.

NEVES, M.A., **Alternativas para valorização da casca de ovo como complemento alimentar e em implantes ósseos**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos

Alimentos. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 1998.

NOGUEIRA, M. L. **Avaliação do Controle de Qualidade de Misturas Asfálticas e Análise do Reflexo do Nível de Qualidade no Desempenho dos Revestimentos Asfálticos.** 2011. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

OLIVEIRA, D. A., BENELLI, P., AMANTE, E. R. **Valorização de resíduos sólidos: casca de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos.** 2º Internacional Workshop - Advances in Cleaner Production. Key Elements For a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change. São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, V. M. S.; PARDO, M. B. L. **Fábrica de Cimento Portland: Impactos Ambientais e Gestão de Conflitos Ambientais no Bairro América (1975-1984).** Scientia Plena. São Cristóvão. V. 3, n. 5, p. 124-132, 2007.

PASCHOALIN FILHO, João Alexandre; GRAUDENZ, Gustavo Silveira. Destinação irregular de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e seus impactos na saúde coletiva. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 127-142, jan. – abr. 2012.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. (coord.) **Manejo e gestão de resíduos da construção civil – Manual de orientação – Volume 1. Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios.** Brasília/DF: CAIXA, 2005.

PISSOLATO JUNIOR, OSVALDO. **ARGAMASSA DE REVESTIMENTO UTILIZANDO AREIA PROVENIENTE DA BRITAGEM DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL.** 2016. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas - CAMPINAS, 2016. 91p.

RAJI, S. A., & Samuel, A. T. (2015). **Egg Shell As A Fine Aggregate In Concrete For Sustainable Construction.** International Journal of Scientific & Technology Research, 4(9), 8–13.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa.** 2º edição; Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. 188 p.

RIBEIRO, D. V. e Morelli, M. R. (2009) **Resíduos Sólidos: problema ou oportunidade?** Editora Interciência, Rio de Janeiro, 158p.

RIBEIRO, T.; LIMA, S. do C; **Coleta seletiva de lixo Domiciliar: estudo de caso.** Em: Caminhos da Geografia 1(2) 50-60, Dez/2000. Programa de pós-graduação em Geografia, Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, 2000.

SANTOS, Edileide Alves dos Santos **Estudo da obtenção de zeólitas a partir de materiais residuais: caulim residual, lama vermelha e casaca de arroz .** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Geociências e Engenharias, Faculdade de Engenharia de Materiais, Curso de Engenharia de Materiais, Marabá, 2016.

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formação de argamassas para construção civil**. Tese. 2008. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2008.

SANTOS, R.A dos, Lira, B.B., & Ribeiro, A. C. M. (2013). ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO NATURAL PELOS RESÍDUOS DA TRITURA DO GRANITO. **Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental** , 8 (8), 1818–1828. Disponível em <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/7238>> .Acesso em 23/03/2022.

SANTOS, White José dos. **Desenvolvimento de metodologia de dosagem de argamassas de revestimento e assentamento**. 2014. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014.

SINDUSCON-MG. **Alternativas para a destinação de resíduos da construção civil**. 2ºed. Belo Horizonte, 2008. 84 p.

SIENGE. **Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil**. 2017. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/> .Acesso em: 08/07/2021.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. **A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento**. In: SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGE M, 2005, São Paulo. Anais... São Paulo: USP. p. 1-12.

SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2006.

SILVA, Paulo Daniel Mendes. **Estudo de Argamassas com Incorporação de Resíduos de Casca de Ovo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.2017.

SIQUEIRA, F. B. **Estudo da Incorporação de Resíduo Sólido de Grits nas propriedades e microestrutura de tijolo solo-cimento**. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 121 p., 2013.

Pinto TP, Gonzáles JLR. **Manejo e gestão dos resíduos da construção civil: Volume 1 – Manual de orientação: como implementar um sistema de manejo e gestão nos municípios**. 1 st ed. Brasília: CAIXA; 2005.

UAIAGR. **Brasileiro está comendo mais ovos e setor comemora crescimento.2021**. Disponível em: <https://uaiagro.com.br/brasileiro-esta-comendo-mais-ovos-e-setor-comemora-crescimento/> . Acesso em: 15/01/ 2022.

VALVERDE, F. M. Agregados para a construção civil: balanço. **Revista Mineral Brasileiro**, 2001. Disponível em: Acesso em: 10 nov. 2021.

VGRESIDUOS – **Resíduos da construção Civil- Construindo valores de sustentabilidade**.2020. Disponível em:

<https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-da-construcao-civil-construindo-valores-de-sustentabilidade/> .Acesso em : 04/11/2021.

VOGT, J. C.; PINHO, V. X.; CORRÊA, E. C. S.; AGUILAR, M. T. P.; CETLIN, P. R. **Influência da adição de resíduos minerais na resistência mecânica, tenacidade à fratura e módulo de Young do concreto**. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, 2006. p. 3756-3766. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17cbecimat-210-025.pdf>. Acesso em: 15/12/2022.