



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MARIA HELENA SILVA DE OLIVEIRA

**POTENCIALIDADE DO USO DO CAULIM E DO PÓ DE PEDRA NA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS**

CARAÚBAS

2022

MARIA HELENA SILVA DE OLIVEIRA

**POTENCIALIDADE DO USO DO CAULIM E DO PÓ DE PEDRA NA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Jennef Carlos Tavares, Prof.
Me.

CARAÚBAS

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

048p Oliveira, Maria Helena Silva de .

Potencialidade do uso do caulim e do pó de pedra na produção de argamassas sustentáveis / Maria Helena Silva de Oliveira. - 2022.
62 f. : il.

Orientador: Jennef Carlos Tavares.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2022.

1. Compósitos cimentícios. 2. Reutilização. 3. Agregado artificial. 4. Argamassas ecológicas. 5. Areia de britagem. I. Tavares, Jennef Carlos, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus
Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito
Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIA HELENA SILVA DE OLIVEIRA

**POTENCIALIDADE DO USO DO CAULIM E DO PÓ DE PEDRA NA
PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS SUSTENTÁVEIS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 26 / 10 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Jennef Carlos Tavares, Prof. Me. (UFERSA)
Presidente

Érica Natasche de Medeiros Gurgel Pinto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Glauco da Fonsêca Henriques, Me.
Membro Examinador

*Aos meus avós paternos Lino e Helena Oliveira
(In Memoriam).*

*Aos meus avós maternos Isaías e Maria
Soares.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus pelo dom da vida, por sempre me guiar pelo caminho certo e por me permitir chegar até aqui e concluir mais uma etapa da minha vida. Sem Ele e a intercessão de Nossa Senhora Aparecida não conseguiria.

Segundo, quero agradecer aos meus pais Iranilda e Ivanildo por tudo que sempre fizeram por mim, por cada vez que abdicaram de algo pensando no meu futuro. A mulher que me torno a cada dia é graças a eles e sou extremamente grata por todo amor, carinho e cuidado.

Além disso, quero agradecer aos meus familiares: avós, tios, tias, primos e primas, por sempre me incentivarem a buscar meus sonhos. Também quero agradecer a Luna minha eterna bebezinha, por todos os momentos de atenção e por ficar ao meu lado durante as madrugadas escrevendo.

Quero agradecer também ao meu amor, Emanuel Vitor, por todos os momentos de acolhimento, carinho, compreensão e afeto não só durante a pesquisa, como também no dia a dia, sei que com o seu apoio e você ao meu lado tudo ficou mais fácil de vencer, você é meu porto seguro nos momentos de certeza e incerteza.

Ainda, quero agradecer às minhas melhores amigas, que considero minhas irmãs: Clara e Nathielly, por dividir a jornada universitária e da vida comigo, sempre me apoiando e dando todo o suporte necessário, sem vocês tudo seria mais difícil, vocês se tornaram minha família e parte fundamental de tudo isso.

Quero também agradecer à equipe de pesquisa, em especial à Samara, Rian e Deivison por compartilhar os dias no laboratório e torná-los alegres e divertidos, apesar de cansativos.

Também quero agradecer imensamente meu orientador Me. Jennef Carlos Tavares, por todas as orientações, conselhos e ensinamentos passados, sei que fiz a melhor escolha para esta etapa. Desejo aqui também expressar minha gratidão à Alison Dantas, técnico dos laboratórios de engenharia civil do campus Caraúbas, pela paciência, atenção e dedicação durante o desenvolvimento do estudo.

Enfim, quero aqui expressar minha profunda gratidão a todos os meus amigos, colegas e docentes que a UFRSA campus Caraúbas me deu, que de forma direta e indireta contribuíram no desenvolvimento da pesquisa. A todos minha eterna gratidão!

RESUMO

O uso de materiais alternativos na composição das argamassas tem sido objeto de pesquisas que analisam a possibilidade de melhorias nas propriedades físicas e mecânicas, promovendo a incorporação de minerais, além de substituições em relação aos materiais constituintes. O desenvolvimento do setor da construção civil ocasionou um acréscimo do consumo de matérias-primas, principalmente relacionadas à produção do cimento Portland. Estima-se que, em 2020, foram produzidos mais de 61 bilhões de toneladas deste material, o maior resultado atingido nos últimos anos. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo estudar o uso do pó de pedra como substituição total da areia quartzosa e do caulim como substituição parcial do cimento Portland para produção de argamassas sustentáveis. Para tanto, as matérias-primas foram caracterizadas pelos ensaios de granulometria, massa específica e massa unitária, ao passo que as argamassas por consistência, densidade de massa no estado fresco e endurecido, resistência à compressão e absorção por capilaridade. As argamassas foram produzidas considerando as proporções de 1:3, em massa, com as composições de 100% cimento: 100% areia: 100% água (AS-REF); 100% cimento: 100% pó de pedra: 100% água (AS-PDP); 90% cimento: 10% caulim: 100% pó de pedra: 100% água (AS-CLM10) e 80% cimento: 20% caulim: 100% pó de pedra: 100% água (AS-CLM20). O estudo da granulometria e da massa específica indicou que o pó de pedra e a areia natural possuem curvas e composições similares. Analisando as propriedades das argamassas no estado fresco, as argamassas AS-CLM10 e AS-CLM20 apresentaram o maior teor de água/aglomerante com 0,67 e ainda, apresentaram a menor e a maior densidade de massa, nos valores de 1,90 e 2,01 (g/cm³), respectivamente. No estado endurecido, o traço AS-CLM20 apresentou a menor resistência à compressão com 28 dias com 7,7 MPa, enquanto a AS-REF apresentou a maior resistência com 21,42 MPa, o traço AS-CLM10 apresentou uma resistência de 9,06 MPa. A composição AS-CLM20 possuiu o maior resultado de coeficiente de capilaridade com 6,58 (g/dm².min^{1/2}), enquanto a AS-CLM10 possuiu o coeficiente de capilaridade no valor de 3,94 (g/dm².min^{1/2}). Portanto, a AS-REF foi a que apresentou melhores resultados, seguida da AS-PDP que ficou com resultados próximos segundo a análise do ternário. Entre as argamassas com resíduos a AS-CLM10 apresentou melhores resultados quando comparada a AS-CLM20.

Palavras-chave: Compósitos cimentícios; Reutilização; Agregado artificial; Argamassas ecológicas; Areia de britagem.

ABSTRACT

The use of alternative materials in the composition of mortars has been the subject of research that analyzes the possibility of improvements in physical and mechanical properties, promoting the incorporation of minerals, as well as substitutions in relation to the constituent materials. The development of the civil construction sector has caused an increase in the consumption of raw materials, mainly related to the production of Portland cement. It is estimated that, in 2020, over 61 billion tons of this material were produced, the highest result achieved in recent years. In this sense, this research aims to study the use of stone powder as a total replacement for quartz sand and kaolin as a partial replacement for Portland cement to produce sustainable mortars. To this end, the raw materials were characterized by particle size, specific gravity and unit mass tests, while the mortars were characterized by consistency, bulk density in the fresh and hardened states, compressive strength and capillary absorption. The mortars were produced considering the proportions of 1:3, by mass, with the compositions 100% cement: 100% sand: 100% water (AS-REF); 100% cement: 100% stone powder: 100% water (AS-PDP); 90% cement: 10% kaolin: 100% stone powder: 100% water (AS-CLM10) and 80% cement: 20% kaolin: 100% stone powder: 100% water (AS-CLM20). The study of particle size and specific mass indicated that stone powder and natural sand have similar curves and compositions. Analyzing the properties of the mortars in the fresh state, the AS-CLM10 and AS-CLM20 mortars presented the highest water/binder content with 0.67 and also presented the lowest and highest mass density, in the values of 1.90 and 2.01 (g/cm³), respectively. In the hardened state, the AS-CLM20 mixture presented the lowest compressive strength at 28 days with 7.7 MPa, while AS-REF presented the highest strength with 21.42 MPa, the AS-CLM10 mixture presented a strength of 9.06 MPa. The AS-CLM20 composition had the highest result of capillarity coefficient with 6.58 (g/dm².min^{1/2}), while AS-CLM10 had the capillarity coefficient in the value of 3.94 (g/dm².min^{1/2}). Therefore, AS-REF was the one that presented the best results, followed by AS-PDP that had close results according to the ternary analysis. Among the mortars with waste, AS-CLM10 showed better results when compared to AS-CLM20.

Keywords: Cementitious composites; Reuse; Artificial aggregate; Ecological mortars; Crushed sand.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Tipos de Cimento.....	7
Figura 2 - Fluxograma do beneficiamento via seca.....	10
Figura 3 - Fluxograma do beneficiamento a úmido	11
Figura 4 - Depósitos de resíduos de caulim a céu aberto	12
Figura 5 - Areia a céu aberto	13
Figura 6 - Fluxograma de uma usina convencional de britagem de rocha compactada para a produção de agregado	14
Figura 7 - Descarte de pó de pedra a céu aberto.....	15
Figura 8 - Etapas de desenvolvimento do estudo	19
Figura 9 - Desenvolvimento detalhado da pesquisa	20
Figura 10 - Cimento	21
Figura 11 - Caulim	21
Figura 12 - Areia natural separada por sua granulometria	22
Figura 13 - Pó de pedra separado por sua granulometria	23
Figura 14 - Peneiras utilizadas na análise granulométrica	24
Figura 15 - Ensaio de massa específica dos aglomerantes	25
Figura 16 - Moldagem dos corpos de prova	27
Figura 17 - CPs em cura	27
Figura 18 - Ensaio de consistência das argamassas.....	28
Figura 19 - Ensaio de resistência à compressão	29
Figura 20 - Ensaio de capilaridade	29
Figura 21 - Curva granulométrica da areia normal	30
Figura 22 - Curva granulométrica do pó de pedra normal	31
Figura 23 - Ensaio de Consistência	34
Figura 24 - Densidade de massa fresca	36
Figura 25 - Densidade de massa endurecida	37
Figura 26 - Ensaio de resistência à compressão	38
Figura 27 - Ensaio de capilaridade a) com 7 dias e b) com 28 dias.	40
Figura 28 - Desempenho das argamassas	41

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classificação das argamassas	5
Tabela 2 - Classificação das Argamassas segundo as suas funções na construção	6
Tabela 3 - Tipos de cimento	7
Tabela 4 - Produção Mundial de Caulim	8
Tabela 5 - Denominação das frações granulométricas	13
Tabela 6 - Consistência das argamassas	16
Tabela 7 - classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco	17
Tabela 8 – Composições das argamassas	26
Tabela 9 - Massa específica e massa unitária da areia natural	31
Tabela 10 - Massa específica e massa unitária da areia natural	32
Tabela 11 - Massa específica do cimento	33
Tabela 12 - Massa específica do caulim	33
Tabela 13 - Relação água/aglomerante do ensaio de consistência	35
Tabela 14 - Resultados da resistência à compressão	38
Tabela 15 - Resultado do ensaio de absorção de capilaridade.....	39
Tabela 16 - Dados antes da normalização	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AS – Argamassa Sustentável

CC – Coeficiente de Capilaridade

CLM – Caulim

CP – Cimento Portland

CPs – Corpos de Prova

DME – Densidade de Massa no Estado Endurecido

MF – Módulo de Finura

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PDP – Pó de Pedra

RC – Resistência à Compressão

REF – Referência

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1.	GERAL	3
2.2.	ESPECÍFICOS.....	3
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1.	ARGAMASSA	4
3.2.	CIMENTO PORTLAND.....	6
3.2.1.	Definição e tipos	7
3.3.	CAULIM.....	8
3.3.1.	Conceituação e consumo	8
3.3.2.	Beneficiamento	9
3.3.3.	Resíduos	11
3.4.	AGREGADOS MIÚDOS	12
3.4.1.	Areia Normal.....	12
3.4.2.	Pó de Pedra.....	13
3.5.	PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS	15
3.5.1.	Estado fresco	15
3.5.2.	Estado endurecido	18
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1.	MATERIAIS.....	20
4.1.1.	Cimento.....	20
4.1.2.	Caulim.....	21
4.1.3.	Areia Normal.....	21
4.1.4.	Pó de Pedra.....	22
4.1.5.	Água	23
4.2.	MÉTODOS	23
4.2.1.	Caracterização da areia natural e do pó de pedra.....	23
4.2.2.	Caracterização do cimento e do caulim	24
4.2.3.	Definição das composições	25
4.2.4.	Ensaio das argamassas no estado fresco	27

4.2.5. Ensaaios das argamassas no estado endurecido	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA AREIA NORMAL.....	30
5.1.1. Granulometria.....	30
5.1.2. Massa específica e massa unitária	31
5.2. CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA.....	31
5.2.1. Granulometria.....	31
5.2.2. Massa específica e massa unitária	32
5.3. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO	33
5.4. CARACTERIZAÇÃO DO CAULIM	33
5.5. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS	34
5.5.1. Estado Fresco	34
5.5.2. Caracterização das argamassas no estado endurecido.....	36
5.6. DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS	40
6. CONCLUSÃO	43
REFEÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, questões relacionadas ao impacto ambiental, causado por diversas fontes poluidoras, têm sido discutidas em todo o mundo (DIAS, 2010). A geração de resíduos urbanos e industriais é um problema ambiental, pois eles podem ocupar grandes espaços, tanto no meio urbano como também no meio rural, prejudicando o meio ambiente e todos que vivem nos seus entornos (AZERÊDO, 2012).

Uma preocupação com a redução do impacto econômico e ambiental no setor da construção civil, fez surgir no mercado novos materiais e novas soluções construtivas. Segundo Garcia *et al.*, (2014), essas argamassas entram no mercado como uma opção sustentável, visto que elas possuem o mesmo objetivo das convencionais, só que com um custo menor e ainda contribui para a preservação do meio ambiente, uma vez que são provenientes de materiais reutilizados.

O principal componente da argamassa convencional é o cimento proveniente da queima do calcário, o seu beneficiamento vem sendo o gerador de impactos tanto ambientais como sociais, que vão desde problemas nos entornos com os habitantes próximos aos locais das fábricas até a poluição do ar, da água e do solo (FEIJÃO NETO, 2010). A indústria de cimento é responsável por aproximadamente 7% das emissões de CO₂ (RIOFRIO; CORNEJO; BAYAKARA, 2022). Além do impacto relacionado à emissão de CO₂ e consequentemente aquecimento global, os efeitos gerados pelo processo produtivo do cimento podem ocorrer em praticamente todas as fases, desde a extração do calcário, passando pela produção, até a sua disposição final (MAURY; BLUMENSCHNEIN, 2022).

Vários resíduos estão sendo estudados para analisar a possibilidade da substituição parcial ou total nas argamassas tanto como aglomerantes como agregados. Entre esses materiais podem-se destacar o caulim e o pó de pedra, visto que suas indústrias de beneficiamento geram certas quantidades de resíduos que comercialmente não são viáveis. A utilização de rejeitos industriais como matéria-prima, se apresenta como uma opção interessante tanto para as empresas que realizam os descartes, como para o meio ambiente.

A utilização do caulim é uma opção para dar uma destinação aos detritos que antes seriam descartados muitas vezes a céu aberto. Quando se trata do uso do pó de pedra as principais vantagens em comparação as areias naturais são a menor variabilidade das

propriedades e características, como granulometria e a ausência de impureza como matéria orgânica e presença de argila em torrões (CARASEK *et al.*, 2016).

Neste contexto, o reaproveitamento de subprodutos representa uma alternativa que interliga a economia à sustentabilidade, promovendo a redução de alguns recursos naturais. Nessa perspectiva, vários estudos vêm sendo realizados para validar a viabilidade técnica do uso do caulim com a substituição parcial do aglomerante: Rocha (2005); Castro (2008); Azerêdo (2012) e do uso do pó de pedra como agregado: Macedo (2021); Ribeiro *et al.*, (2016).

Sendo assim, com a limitação do uso tanto do pó de pedra como do caulim em conjunto para a produção de argamassa, optou-se por estudar a influência desses materiais tornando as argamassas sustentáveis. Em visto do exposto, a presente pesquisa busca contribuir para o desenvolvimento sustentável, além de diminuir as preocupações com o descarte irregular dos resíduos, possibilitando assim a redução dos impactos ambientes e sociais gerados.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

O objetivo geral do trabalho é estudar a influência da adição de resíduos nas propriedades das argamassas de revestimento ou assentamento.

2.2. ESPECÍFICOS

- Selecionar os materiais e caracterizá-los para a produção das argamassas;
- Estudar as propriedades das argamassas produzidas;
- Avaliar o desempenho dos resíduos na produção das argamassas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. ARGAMASSA

Desde a antiguidade o homem emprega materiais que têm a finalidade de unir elementos de várias naturezas na construção de edificações (RECENA, 2012). Em Guimarães (2002) é mencionado que uma análise feita no material que vedava as câmaras da pirâmide de Quéops revelou o uso de argamassas, e que nas juntas dos blocos de calcário e granito havia cal. Também é citado 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.

Ainda segundo Recena (2012) a maioria dos povos na antiguidade usavam a cal como aglomerante, sendo ele o mais utilizado nesse período. Os gregos sabiam utilizar a cal para diversas aplicações, no entanto foram os romanos que mais se destacaram no aprimoramento do uso desse aglomerante, misturando por vezes com agregados graúdos, areias e fragmentos de cerâmica vermelha para a fabricação de concretos rudimentares.

No Brasil, a argamassa passou a ser usada ainda no primeiro século da colonização, para o assentamento de alvenaria de pedra, que na época era muito utilizada. Mas foi no século XIX com o surgimento do cimento obtido através da queima do calcário e da argila, que as argamassas começaram a ser produzidas semelhantes às da atualidade, passando a introduzir o cimento junto a cal e agregados miúdos (BATTAGIN, 2022). Atualmente, são inúmeras as utilizações das argamassas em obra, podendo encontrá-las nos assentamentos das alvenarias, nos revestimentos e acabamentos de edificações.

A NBR 13281 (ABNT, 2005a) define argamassa como sendo uma mistura de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalações próprias.

Segundo Recena (2012), as argamassas podem ser classificadas pela sua função, ou seja, sua utilização. Ela pode ser de assentamento, revestimento, fixação, regularização, de regularização e proteção.

No entanto, as argamassas podem ainda ser classificadas por diversos critérios, a Tabela 1 logo abaixo mostra algumas classificações de acordo com Carasek (2010).

Tabela 1 - Classificação das argamassas

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa aérea
	Argamassa Hidráulica
	Argamassa de cal
Quanto ao tipo do aglomerante	Argamassa de cimento
	Argamassa de cimento e cal
	Argamassa de gesso
Quanto ao número de aglomerante	Argamassa de cal e gesso
	Argamassa simples
	Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	Argamassa seca
	Argamassa plástica
	Argamassa fluída
Quanto à plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra
	Argamassa média ou cheia
	Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	Argamassa leve
	Argamassa normal
	Argamassa pesada
Quanto a forma de preparo ou fornecimento	Argamassa preparada em obra
	Mistura semipronta para argamassa
	Argamassa industrializada
	Argamassa dosada central

Fonte: Carasek, (2010).

Além disso, Carasek (2010) ainda classificou as argamassas de acordo com sua função na construção civil. A Tabela 2 mostra essa classificação.

Tabela 2 - Classificação das Argamassas segundo as suas funções na construção

Função	Tipos
Para construção de alvenaria	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. vedação.
	Argamassa de chapisco
	Argamassa de esboço
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de piso	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: Carasek, (2010).

3.2. CIMENTO PORTLAND

Segundo Battagin (2022), um grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado pelo inglês John Smeaton, no ano de 1756, quando obteve um produto de alta resistência por meio da calcinação do calcário e argila. Quase 100 anos depois, no ano de 1824, o construtor também inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila e transformou-as num pó fino, com isso percebeu que a mistura desse pó fino com a água, após secar, ficava dura como uma pedra. Essa mistura, foi então patenteado pelo construtor com o nome de cimento Portland, que por sua vez recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de solidez e durabilidade semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland. A palavra cimento, é originada do latim *caementu* e na antiga Roma designava uma espécie de pedras naturais de rochedos não quebrados.

3.2.1. Definição e tipos

O Cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água (ABCP, 2002).

Atualmente, o mercado nacional conta com 8 variedades do cimento Portland, os quais alguns possuem subtipos (ABCP, 2022). A Tabela 3 descreve os tipos de cimento.

Tabela 3 - Tipos de cimento

Tipos	Subtipos
Comum	CP I – Comum
	CPI-S – Comum com adição
	CP II-E – Com adição de escoria granulada de alto forno
Composto	CP II-Z – Com adição de pozolana
	CP II-F – Com adição de fíler
Alto forno	CP III – Até 70% de escória granulada de alto-forno
Pozolânico	CP IV – Até 50% de pozolana
A.R.I	CP-V-ARI – 95% ~ 100% clínquer (moagem mais fina)

Fonte: ABCP, (2022).

Há ainda segundo a ABCP (2022), outros cimentos que se destacam, como o Cimento Portland resistente ao Sulfato (RS), Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) e o Cimento Portland Branco (CPB). A Figura 1 ilustra os tipos de cimento comercializados no mercado brasileiro.

Figura 1 - Tipos de Cimento



Fonte: Autoria Própria, (2022).

3.3. CAULIM

3.3.1. Conceituação e consumo

O caulim é o nome comercial dado a uma argila branca ou quase branca, que é basicamente constituída pelo mineral caulinita (BAUER, 2013). Há mais de três milênios, os chineses usavam o caulim para produção da porcelana, e foi na China que ele foi descoberto na região montanhosa de Jauchou Fu (DIAS, 2010).

É um material encontrado na natureza e é originado das rochas sedimentares, composto principalmente de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3). Seu principal mineral – a caulinita – tem sua fórmula estrutural definida como $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, da qual é composta por cerca de 46% de SiO_2 , 39% de Al_2O_3 e 14% de H_2O (MURRAY, 2007). Esse mineral é provavelmente um dos 6 mais abundantes na crosta terrestre. Possui várias aplicações industriais, principalmente na indústria de papel, devido as suas características de alvura e granulometria, sendo utilizado em menor escala na fabricação de materiais refratários, plásticos, borrachas e cimentos.

Em 2017, a produção mundial total de caulim foi de 36,6 milhões de toneladas (Mt), crescendo 4,3% em relação ao ano anterior, o Brasil permaneceu na 8ª colocação (SUMÁRIO MINERAL, 2018). A Tabela 4 mostra, segundo o mesmo autor, os principais produtores de Caulim do ano de 2017.

Tabela 4 - Produção Mundial de Caulim

Países	Consumo	
	em 2017 (10^3 toneladas)	%
Estados Unidos	5500	15
Alemanha	4300	11,7
Índia	4100	11,2
República Tcheca	3500	9,6
China	3200	8,7
Turquia	1900	5,2
Ucrânia	1800	4,9
Brasil	1770	4,8
Outros países	10560	28,9

Fonte: Adaptado do Sumário mineral, (2018).

No ano de 2017, o consumo aparente de caulim beneficiado apresentou uma forte recuperação em comparação ao ano de 2016, enquanto o caulim bruto, cerca de 34,4% é utilizado na construção civil, principalmente no estado de Minas Gerais.

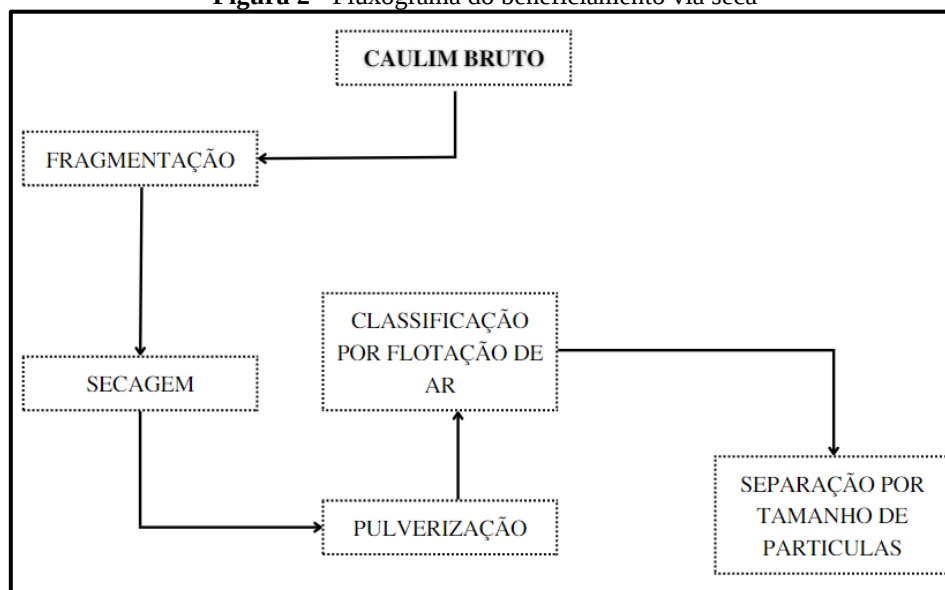
3.3.2. Beneficiamento

Geralmente, em sua grande maioria, os caulins ocorrem associados a diversas impurezas, e em seu estado natural não atendem aos requisitos exigidos no mercado, sendo necessário submetê-los a processos de beneficiamento. (LUZ *et al.*, 2005). Os processos de beneficiamento do caulim variam de acordo com sua finalidade, existem duas técnicas: via seca e via úmida.

3.3.2.1. Beneficiamento a seco

O processo via seca é mais simples, sendo feito quando o caulim apresenta um certo grau de pureza e a sua distribuição granulométrica é adequada, além disso, é necessário ainda, possuir um baixo teor de quartzo.

Nessa etapa, o caulim no seu estado bruto é de início fragmentado com o auxílio de um britador de 2,54 cm, após essa fragmentação, o mineral é então encontrado conduzido para a secagem que é realizada por meio de secadores rotativos. (LUZ *et al.*, 2005). Ainda segundo o mesmo autor, ocorre a pulverização em moinhos de rolos, para então haver a classificação de acordo com seu tamanho, que por sua vez é feita por meio do processo de flotação do ar, ou seja, as partículas mais finas são conduzidas para o topo do aerosseparador por uma corrente de ar quente, ocorrendo assim, a separação do caulim. Conforme o esquema resumido na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma do beneficiamento via seca

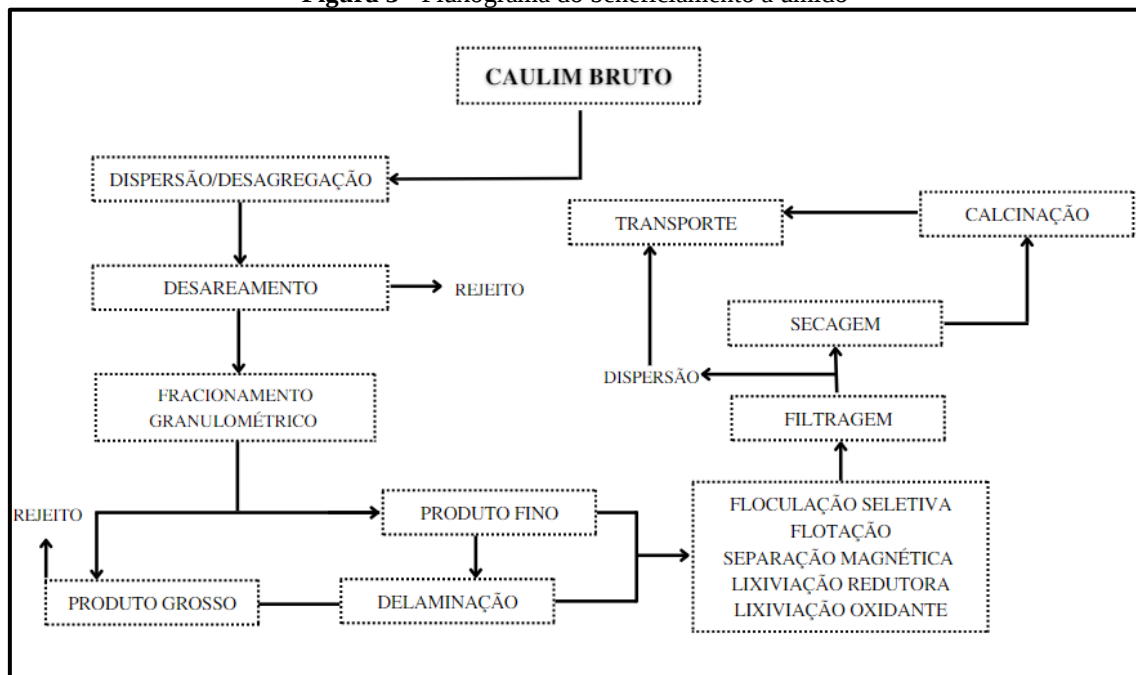
Fonte: Autoria Própria, (2022).

No entanto, é difícil encontrar o caulim, no seu estado natural, com todos os pré-requisitos exigidos para tal beneficiamento, assim sendo, o beneficiamento mais realizado é a úmido.

3.3.2.2. Beneficiamento a úmido

No processo por via úmida, o caulim bruto é desintegrado em batedores onde é adicionada a água para a lavagem dos minerais acessórios, retirando assim, o caulim agregado. Em seguida, o material, então passa por tanques onde para a separação do caulim da areia e depois para tanques de sedimentação onde os flocos são precipitados. O caulim precipitado, é bombeado para os filtros-prensa, nos quais é retirada boa parte da água em excesso, resultando, assim, na chamada torta de caulim. Essa torta é seca ao ar livre ou em fornos de teto quente, no período chuvoso, ou ainda quando se quer obter um produto de maior qualidade (CASTRO, 2008).

O beneficiamento a úmido envolve as etapas de dispersão, desareamento, fracionamento em hidrociclone ou centrífuga, separação magnética, floculação seletiva, alveamento químico, filtragem e secagem (LUZ *et al.*, 2005; MONTE; CARVALHO; FERREIRA, 2001). A Figura 3 ilustra as etapas do procedimento.

Figura 3 - Fluxograma do beneficiamento a úmido

Fonte: adaptado de Monte, Carvalho e Ferreira (2001).

3.3.3. Resíduos

Segundo Nóbrega (2007), os resíduos de caulim da Paraíba contêm cerca de 50% de caulinita. As indústrias de beneficiamento de caulim normalmente produzem dois tipos de resíduos: o primeiro é o resíduo grosso, proveniente da separação do quartzo do minério, gerado logo após a extração; o segundo é o resíduo fino, que provém da segunda etapa do beneficiamento, quando o caulim é purificado (ANJOS e NEVES, 2011). Esses resíduos são chamados popularmente de birra e borra, respectivamente.

Além disso, esses resíduos podem conter alguns contaminantes, dentre eles: concentrações de ferro (Fe), alumínio (Al), zinco (Zn), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) acima do permitido pela legislação vigente (MARTELLI e NEVES, 2012).

Do caulim extraído, mais de 50% é desperdiçado, uma vez que não é reutilizado pelas indústrias ou por qualquer outro segmento. Esses resíduos são quase sempre descartados indiscriminadamente, em campo aberto, com apresentado na Figura 4, o que pode provocar uma série de danos tanto ao meio ambiente como aos moradores rurais – os pequenos agricultores em geral, além da população que vivem perto das mineradoras, com o gerenciamento inadequado do beneficiamento do caulim (INGUZA; JÚNIOR; COSTA, 2014).

Figura 4 - Depósitos de resíduos de caulim a céu aberto



Fonte: Oliveira, (2016).

Frente à essa situação, as empresas vêm sendo alvo de severas fiscalizações por parte dos órgãos ambientais, fazendo com que o resíduo gerado se torne uma fonte de custos para as empresas e um limitante no aumento de suas produções. Assim, esses detritos vêm se tornando um problema para os municípios produtores e o meio ambiente. Com isso, vários esforços vêm sendo dedicado aos estudos e pesquisas visando a reutilização desses resíduos. Segundo Nobre e Acchar (2010), os esforços ainda são pequenos frente ao volume de sua produção, no entanto, iniciar estudos é de suma importância.

3.4. AGREGADOS MIÚDOS

Segundo La Serna e Rezende (2013) os agregados para Construção Civil são materiais granulares, que não possuem 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 miúdos são basicamente areia e rocha britada e muitas vezes entram em misturas – tais como o concreto e a argamassa – antes de serem empregados na construção civil.

3.4.1. Areia Normal

A areia normal brasileira – mostrada na Figura 5 é um material de referência utilizado por todos os laboratórios nacionais que realizam ensaios físico-mecânicos de

cimento Portland (RIBEIRO, 2019). A NBR 7214 (ABNT, 2015a), define como sendo um material natural, padronizado, constituído principalmente de grãos de quartzo arredondados a subarredondados e beneficiado.

Segundo a NBR 7214 (ABNT, 2015a), para realizar a separação granulométrica, a areia normal deve ser separada para fins de comercialização, transporte, estocagem e uso, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Denominação das frações granulométricas

Material retido entre as peneiras de abertura nominal de	Denominação
2,4 mm a 1,2 mm	Grossa
1,2 mm a 0,6 mm	Média grossa
0,6 mm a 0,3 mm	Média fina
0,3 mm a 0,15 mm	Fina

Fonte: NBR 7214, (ABNT, 2015a).

Figura 5 - Areia a céu aberto



Fonte: Botelho, (2020).

3.4.2. Pó de Pedra

Conforme citam Drago, Verney e Pereira (2009), o pó de pedra é um material tipicamente de formato anguloso e superfície áspera, também conhecido como agregado miúdo de pedra britada, areia artificial ou areia de britagem. Para Ramos Filho (2021), o

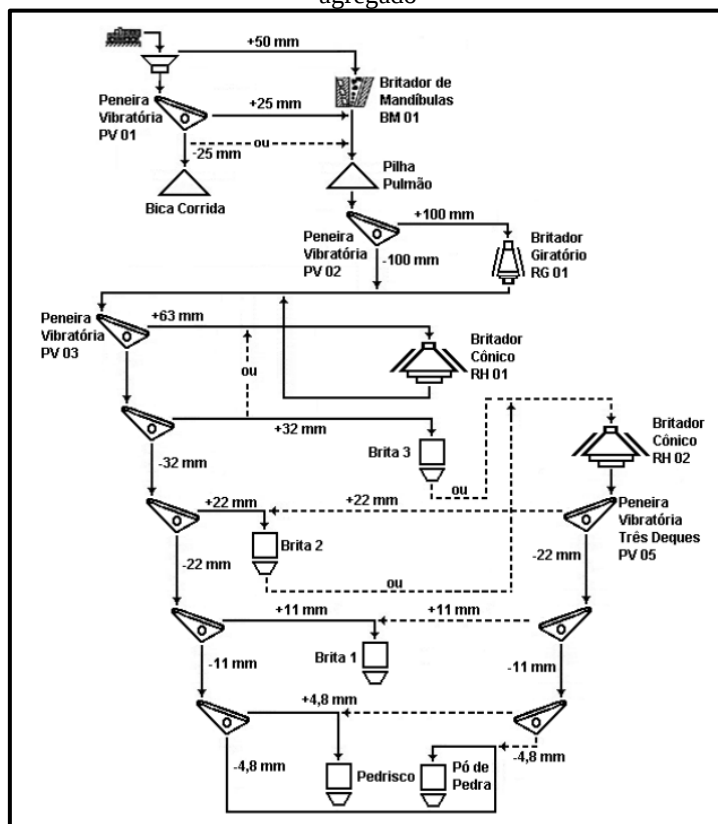
pó de pedra representa o subproduto gerado no processo de britagem das rochas para obtenção da brita de construção civil, constituído pela mesma composição química da rocha inicial, uma vez que o beneficiamento ocorre apenas por processos físicos.

3.4.2.1. Beneficiamento

A atividade econômica carece de agregados miúdos, em especial no setor da construção civil, para implementação em basicamente todas as áreas desde a infraestrutura de transportes como rodovias, saneamento, moradias, instalações físicas de indústria e comércio (LUZ; ALMEIDA, 2012). Segundo Luz e Sampaio (2012) uma unidade industrial tem por função modificar o tamanho das partículas, sua forma e distribuição granulométrica.

Um fluxograma de uma usina convencional típica de produção de agregado, com base em granito, gnaiss e outros está mostrado na Figura 6. Nesta são conseguidos os produtos típicos de uma pedreira: brita 1, 2 e 3, pedrisco, pó de pedra e bica corrida.

Figura 6 - Fluxograma de uma usina convencional de britagem de rocha compactada para a produção de agregado



Fonte: Sampaio, Carvalho, Piquet (2001).

A operação tem início com o auxílio de uma carregadeira frontal que leva a rocha explotada para um alimentador vibratório com uma grelha de cerca de 50 mm de abertura. A fração grossa segue para um britador de mandíbulas. A fração fina, passante na primeira grelha segue para uma peneira menor, cerca de 25 mm. A fração menor que essa soma-se ao produto de britagem para então formar as britas 1, 2 e 3. A segunda etapa da britagem é constituída de um britador cônico com abertura abaixo de 100 mm. A fração retida em 63 mm segue então para a terceira etapa do beneficiamento.

A fração retida entre 63 e 32 mm já é produto final denominado brita 3. A brita 2 é a fração retida na tela de 22 mm. A brita 1 é a retida na tela de 11 mm e passante na de 22 mm. O pedrisco por sua vez, é a retida na tela de 4,8 mm e passante na de 11 mm.

Por fim, o pó de pedra é o produto passante na tela de 4,8 mm, por ter baixo valor comercial fica estocado a céu aberto, conforme a Figura 7.

Figura 7 - Descarte de pó de pedra a céu aberto



Fonte: Autoria própria, (2022).

3.5. PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS

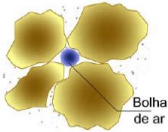
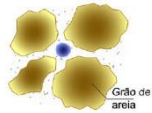
3.5.1. Estado fresco

Em seu estado fresco, elas estão essencialmente ligadas à facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, utilizadas, consolidadas, realizadas, em um estado homogêneo antes do seu endurecimento, denominado de trabalhabilidade. Como o próprio nome sugere, trabalhabilidade refere-se a forma como as argamassas se comportam ou “trabalham” na prática (CARASEK, 2010). É uma propriedade complexa e está diretamente relacionada a diversas características, tais como: consistência e densidade de massa fresca.

3.5.1.1. Consistência das argamassas

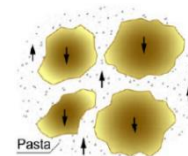
Segundo Carasek (2010) consistência é a maior ou menor facilidade de a argamassa deformar-se sob a ação de cargas. Além disso, Cincotto, Silva e Cascudo, (1995) define consistência como a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação, não existindo uma unidade que a quantifique. Segundo o mesmo autor, a consistência é diretamente estabelecida pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria do agregado, natureza e qualidade do aglomerante. Assim, a água tem grande importância no comportamento reológico das argamassas, visto que influencia diretamente sua trabalhabilidade e viscosidade. A argamassa pode ser classificada como seca, plástica ou fluida, como está mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Consistência das argamassas

Argamassa Seca	A pasta aglomerante somente preenche os vazios entre os agregados, deixando-os ainda em contato. Existe o atrito entre as partículas que resulta em uma massa áspera.	
Argamassa Plástica	Uma fina camada de pasta aglomerante “molha” a superfície dos agregados, dando uma boa adesão entre eles com uma estrutura pseudo-sólida.	

Argamassa Fluida

As partículas de agregado estão imersas no interior da pasta aglomerante, sem coesão interna e com tendência de depositar-se por gravidade (segregação). Os grãos de areia não oferecem nenhuma resistência ao deslizamento, mas a argamassa é tão líquida que se espalha sobre a base, sem permitir a execução adequada do trabalho.



Fonte: Carasek, (2010).

3.5.1.2. Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

A densidade de massa fresca está relacionada a quantidade de massa pela quantidade de volume que a argamassa ocupa. O fenômeno da incorporação de ar ocorre sobretudo durante o processo de mistura e adensamento das argamassas. A densidade de massa das argamassas, também é denominada de massa específica e varia com a proporção de ar. Esta propriedade afeta a trabalhabilidade, pois, à medida que a massa diminui, a argamassa se torna mais leve e com melhor trabalhabilidade (ROCHA, 2005). A Tabela 7 apresenta uma classificação das argamassas quanto à densidade.

Tabela 7 - classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco

Argamassa	Densidade de massa A (g/cm³)	Principais agregados empregados	Usos/obrigações
Leve	< 1,40	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$1,40 \leq a \leq 2,30$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	>2,30	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek, (2010).

A densidade de massa das argamassas no estado fresco é determinada pelo método da NBR 13278 (ABNT, 2005b) e é expressa em g/cm³, com duas casas decimais.

Segundo Romano, Cincotto e Pileggi (2018), o desenvolvimento da microestrutura porosa nas argamassas não é trivial, visto que depende de inúmeros fatores intrínsecos

das misturas, dentre eles temos: tipo e teor de cimento e aditivo incorporador de ar; e teor de água utilizado para o amassamento. Além de fatores extrínsecos, tais como a energia e tempo de mistura, tipo de equipamento, temperatura da água e ambiente, qualidade da água, dentre outros.

3.5.2. Estado endurecido

As propriedades das argamassas no estado endurecido estão relacionadas diretamente com seu desempenho já depois de aplicadas, como, resistir aos esforços e deformações ao qual estão sujeitas, assim como também resistir às intempéries.

As principais características estudadas no estado endurecido são: resistência à compressão, massa específica endurecida, absorção de água por capilaridade, entre outros.

3.5.2.1. Resistência à compressão

A resistência mecânica das argamassas representa a propriedade dos revestimentos referente ao estado de consolidação interna capaz de suportar esforços de diferentes naturezas, que resultam em tensões internas de tração, compressão e cisalhamento, diante das solicitações as quais as argamassas estão sujeitas (CARASEK, 2010). Da literatura é conhecido que os fatores que influenciam a resistência mecânica são: a relação água/aglomerante, o aglomerante e o tipo de agregado (AZERÊDO, 2012).

A fim de atender as condições de durabilidade, as argamassas destinadas ao revestimento, por exemplo, devem cumprir determinados requisitos que são estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005c) que visa prescrever o método para a determinação à compressão das argamassas no estado endurecido.

3.5.2.2. Densidade de massa endurecida

A densidade de massa no estado endurecido representa a relação entre a massa e o volume aparente da argamassa. Essa propriedade indica a compactidade que vai resultar da proporção de agregado em relação ao aglomerante e também da distribuição granulométrica da mistura (NAKAKURA, 2003).

A NBR 13280 (ABNT, 2005d) prescreve os procedimentos que determinam as propriedades de volume de vazios da argamassa.

3.5.2.3. Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

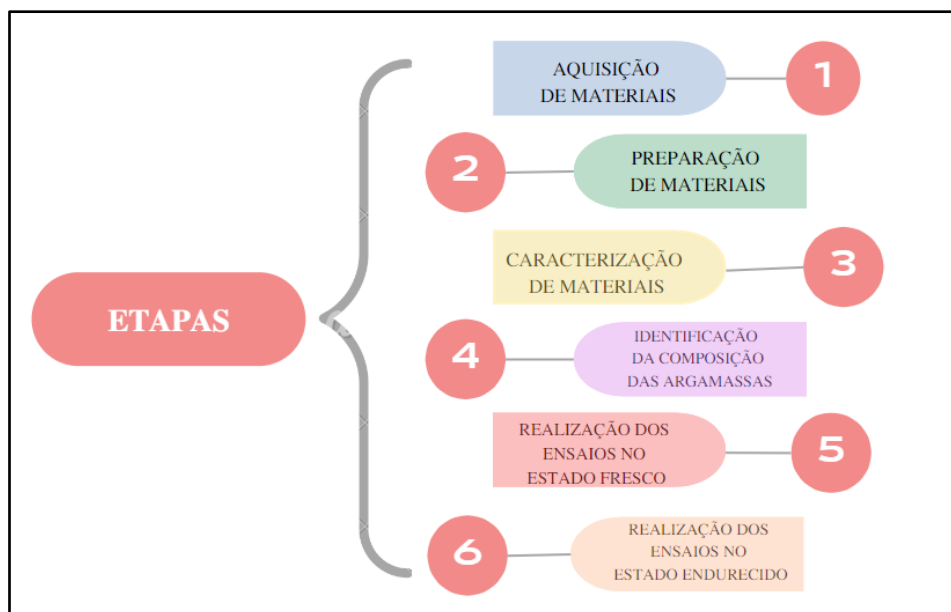
A propriedade de permeabilidade relaciona-se com a estanqueidade do revestimento, ou seja, com a capacidade de passagem da água pela camada. A principal característica do fenômeno da capilaridade é a existência de um gradiente de pressão entre dois meios, gerando, por diferença de pressão, a movimentação do fluido da região com pressão mais elevada para a de menor pressão (SENTONE, 2011).

O coeficiente de capilaridade das argamassas é estimado por meio dos procedimentos descritos na NRB 15259 (ABNT, 2005e). Segundo Mattana *et al.*, (2012), o ensaio de capilaridade consiste na caracterização indireta da durabilidade da argamassa, de forma que, quanto menor a absorção capilar, maior será a durabilidade do revestimento.

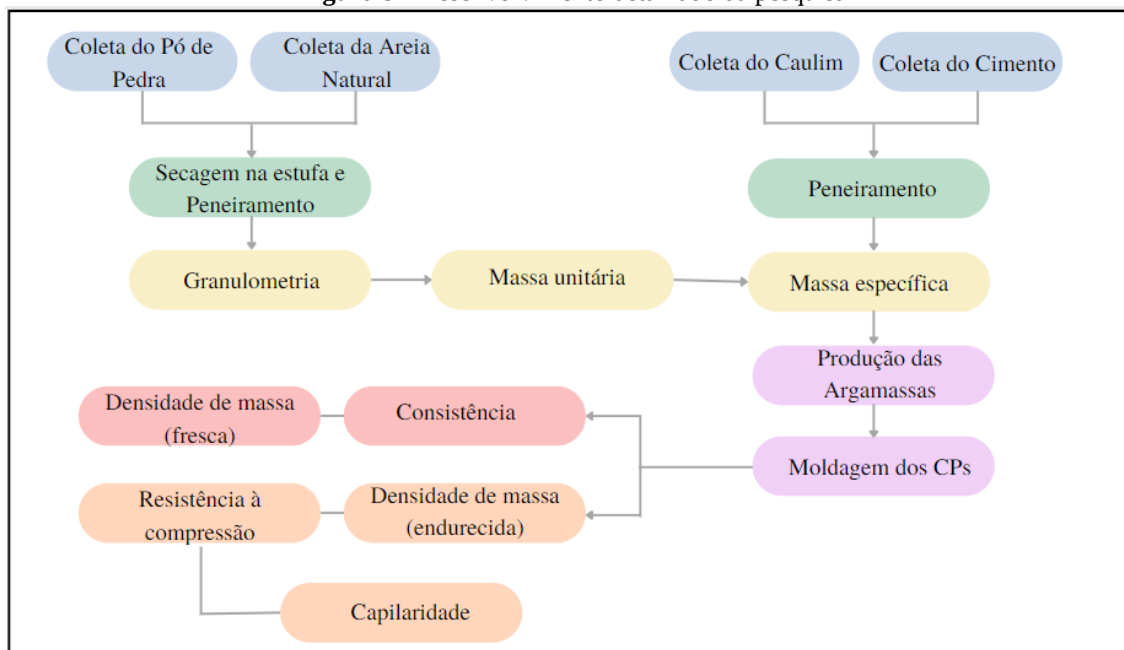
4. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de analisar e estudar as argamassas, desde seus materiais até suas propriedades, foi montado um programa experimental, ilustrado na Figura 8 e detalhado na Figura 9.

Figura 8 - Etapas de desenvolvimento do estudo



Fonte: Autoria Própria, (2022).

Figura 9 - Desenvolvimento detalhado da pesquisa

Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.1. MATERIAIS

O presente tópico, indica todos os materiais utilizados para a realização da pesquisa que analisa a fabricação das argamassas sustentáveis. Sua produção foi feita com matérias-primas oriundas tanto do semiárido potiguar quanto paraibano.

4.1.1. Cimento

Para a produção das argamassas utilizou-se o cimento Portland tipo CP V-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), como indicado na Figura 10. A escolha do cimento ocorreu devido ele possuir um menor teor de adição em sua composição.

Figura 10 - Cimento

Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.1.2. Caulim

O caulim utilizado foi coletado de uma mineradora no Junco do Seridó, localizada no estado da Paraíba. O caulim fino é proveniente do beneficiamento do caulim bruto, e durante o seu processo é produzido uma quantia considerável de resíduos, a Figura 11 mostra o caulim pronto para a comercialização.

Figura 11 - Caulim

Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.1.3. Areia Normal

A areia natural, agregado miúdo também chamada de areia quartzosa, foi colhida de uma jazida localizada nas proximidades do município de Caraúbas-RN. Para realizar

o seu beneficiamento, o material foi levado para o laboratório de Engenharia Civil da UFERSA, onde precisou ser seco na estufa. Após a secagem, foi realizado o peneiramento seguindo as instruções descritas na NBR 7214 (ABNT, 2015a), e assim, foi armazenado a areia retida no jogo de peneiras que produziu por separação granulométrica, as areias do tipo grossa, média grossa, média fina e fina, ilustrada respectivamente na Figura 12.

Figura 12 - Areia natural separada por sua granulometria



Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.1.4. Pó de Pedra

O pó de pedra utilizado no estudo da pedreira localizada na região limítrofe do município de Caraúbas. Após a realização da coleta, o pó de pedra precisou passar pelo beneficiamento para ser adicionado na composição das argamassas e para isso foi utilizado o laboratório de Engenharia Civil da UFERSA. Nesta etapa, foram empregados os mesmos procedimentos da areia, visto que o pó de pedra substituiu integralmente a areia normal, assim, ele foi peneirado seguindo as sequências de peneiramento, para a produção o pó de pedra grosso, médio grosso, médio fino e fino, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Pó de pedra separado por sua granulometria

Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.1.5. Água

A água utilizada para a produção das argamassas é a fornecida pelo sistema que abastece a UFERSA. É importante que a água utilizada seja potável para garantir que esteja livre de impurezas.

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Caracterização da areia natural e do pó de pedra

4.2.1.1. Análise Granulométrica

A norma que regulamenta a análise granulométrica tanto do pó de pedra como da areia natural é a NBR NM 248 (ABNT, 2003). A norma descreve e determina, a partir do peneiramento, a composição granulométrica dos agregados e miúdos e também dos agregados graúdos sendo estabelecida em cada malha a quantidade de amostra retida por pesagem, assim como o módulo de finura. A Figura 14, mostra as peneiras utilizadas para a realização do ensaio.

Figura 14 - Peneiras utilizadas na análise granulométrica



Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.2.1.2. Massa específica

A massa específica dos agregados foi obtida através do ensaio feito de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009), e segundo essa norma a massa específica consiste na relação entre a massa do agregado seco e o volume que ele ocupa, descartando os poros permeáveis.

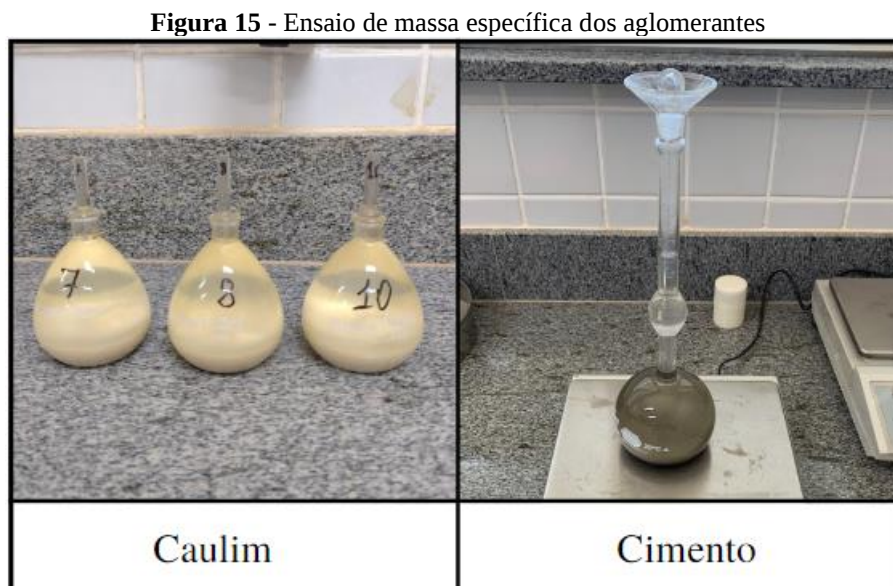
4.2.1.3. Massa unitária

Para determinar a massa unitária utiliza a NBR NM 45 (ABNT, 2006), a qual estabelece o método para a determinação da densidade a granel e o volume de vazios de agregados miúdos, grãos e a mistura dos dois.

4.2.2. Caracterização do cimento e do caulim

Tanto o cimento como o caulim passaram pelo mesmo ensaio de caracterização: o de massa específica, para a realização do ensaio com cimento foi tomada a NBR 16605 (ABNT, 2017), já para a realização com o caulim foi utilizada a NM 52 (ABNT, 2009). A primeira norma determina o método para determinação da massa específica do cimento

por meio do frasco volumétrico de Le Chantelier, a segunda utiliza o picnômetro para a realização do ensaio, como observado na Figura 15, que mostra o ensaio da massa específica do caulim e do cimento, na devida ordem.



Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.2.3. Definição das composições

Para produzir as argamassas foi utilizado um traço na proporção de 1:3 de aglomerante e agregado, nesta ordem. A escolha do traço se deu por ser uma das mais usuais nos canteiros de obras bem como em diversos estudos na área (AZERÊDO, 2012). Além disso, foi utilizado ainda um aditivo plastificante próprio para argamassas na proporção de 0,75%, a fim de melhorar sua trabalhabilidade, proporcionando economia de materiais e um ótimo acabamento nos corpos de prova.

Nesta pesquisa, produziu-se quatro tipos de argamassas, com o objetivo de estudar a substituição total da areia natural por pó de pedra e parcial do cimento pelo caulim. Assim, a Tabela 8 mostra a nomenclatura adotada para a realização do estudo e ainda suas composições e a porcentagem dos materiais utilizados. É importante salientar que para realizar a substituição do cimento pelo caulim, foi preciso usar a relação pelo volume, visto que o caulim apresenta uma densidade baixa quando se compara com a densidade do cimento.

Tabela 8 – Composições das argamassas

Traço	Nomenclatura	Composições	Percentagem (%)
1:3 Aglomerante	AS-REF	Cimento + Areia + Água + Aditivo	100% C: 100% A: 100% W + 0,75% Ad.
	AS-PDP	Cimento + Pó de Pedra + Água + Aditivo	100% C: 100% PDP: 100 W + 0,75% Ad.
	AS-CLM10	Cimento + Caulim + Pó de Pedra + Água + Aditivo	90% C: 10% CLM: 100% PDP: 100% W + 0,75% Ad.
	AS-CLM20	Cimento + Caulim + Pó de Pedra + Água + Aditivo	80% C: 20% CLM: 100% PDP: 100% W + 0,75% Ad.

Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.2.3.1. Moldagem e cura dos corpos de prova

Para realizar a moldagem das quatro composições de argamassas foram utilizados moldes com capacidade para três corpos de prova no formato prismático – 4 x 4 x 16 cm), os procedimentos para a realização do ensaio seguiram os recomendados pela NBR 13279 (ABNT, 2005c). Antes de introduzir as argamassas nas placas, elas foram lubrificadas com óleo mineral, para ajudar no desmolde nos CPs, que por sua vez, foi realizado cerca de 24 horas depois e colocados em cura na água potável em temperatura ambiente, por 7 e 28 dias para a realização dos ensaios mecânicos e físicos no estado endurecido das argamassas. A Figura 16 mostra os corpos de prova com a argamassa fresca e os endurecidos, prontos para serem desmoldados. Enquanto a Figura 17 ilustra os corpos de prova em cura.

Figura 16 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autoria Própria, (2022).

Figura 17 - CPs em cura



Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.2.4. Ensaios das argamassas no estado fresco

4.2.4.1. Consistência das argamassas

O ensaio de consistência das argamassas é feito baseado na NBR 13276 (ABNT, 2016), a norma prevê a determinação do índice de consistência normal das argamassas

através da mesa de consistência. A Figura 18 demonstra como a mesa é utilizada, a colocação da argamassa dentro do molde e a medição realizada ao final do ensaio.

Figura 18 - Ensaio de consistência das argamassas



Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.2.4.2. Densidade de massa no estado fresco

A NBR 13278 (ABNT, 2005b) estabelece o método para determinar a densidade de massa no estado fresco das argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos.

4.2.5. Ensaios das argamassas no estado endurecido

4.2.5.1. Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio de densidade no estado endurecido foi realizado com base na NBR 13280 (ABNT, 2005d), que tem como objetivo definir a densidade de massa no estado endurecido com o tempo de cura de 7 e 28 dias.

4.2.5.2. Resistência à compressão

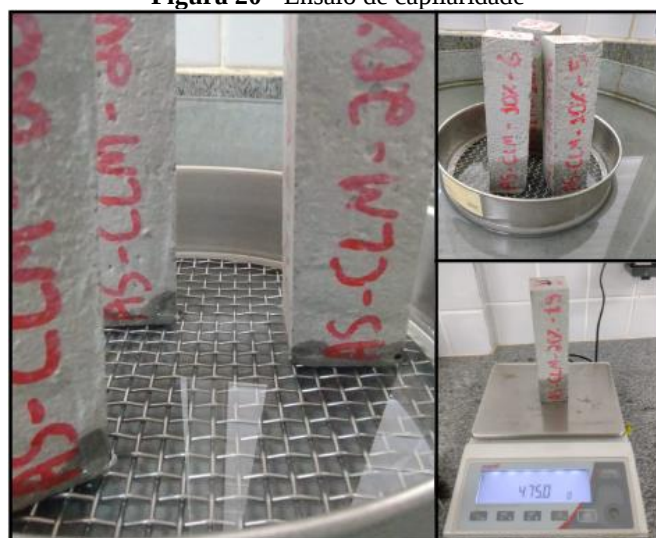
Com o intuito de realizar o ensaio de resistência a compressão foi utilizado a NBR 13279 (ABNT, 2005c), que visa estabelecer os métodos para definição da resistência à tração e à compressão de argamassas para assentamento e revestimento de paredes e teto, no estado endurecido. O tempo para o rompimento obedeceu ao tempo de cura necessário, de 7 e 28 dias. A Figura 19 mostra como é realizado o ensaio.

Figura 19 - Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Autoria Própria, (2022).

4.2.5.3. Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade foi utilizado a norma NBR 15259 (ABNT, 2005e), que determina a absorção de água por capilaridade e o seu coeficiente de capilaridade. Com isso, os corpos de prova foram colocados a cerca de 5 mm em contato com a água para analisar sua massa antes de ser colocado em contato com o líquido, dez e noventa minutos depois, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Ensaio de capilaridade

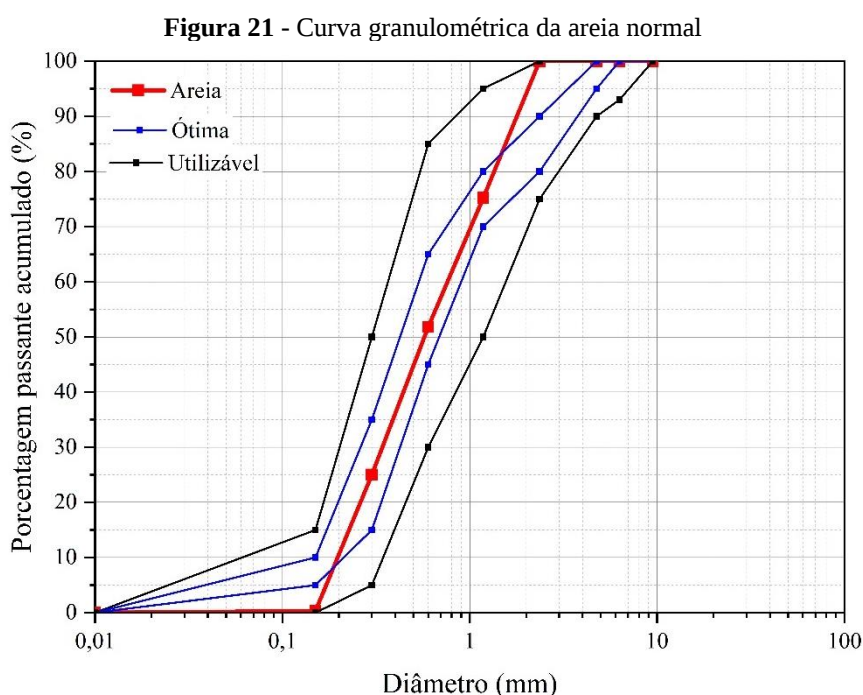
Fonte: Autoria Própria, (2022).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA AREIA NORMAL

5.1.1. Granulometria

A Figura 21 mostra a curva granulométrica da areia normal. Todo o agregado miúdo foi submetido ao ensaio de análise granulométrica, de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003).



Fonte: Autoria Própria, (2022).

Percebe-se que o diâmetro máximo da areia normalizada chegou a 2,4 mm de estrutura. Esse valor pode ser explicado pelo fato de a areia normal ter passado antes do ensaio, pelo beneficiamento da separação das quatro frações.

A areia está dentro da zona utilizável, no entanto, apresentou um bom comportamento ao ficar, grande parte das frações na zona ótima de utilização. O ensaio permitiu também calcular o módulo de finura (MF) e areia normalizada, possui um módulo de finura de 2,48.

5.1.2. Massa específica e massa unitária

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos com a realização dos ensaios de massa específica e unitária, conforme as normas NM 52 (ABNT, 2009) e NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente.

Tabela 9 - Massa específica e massa unitária da areia natural

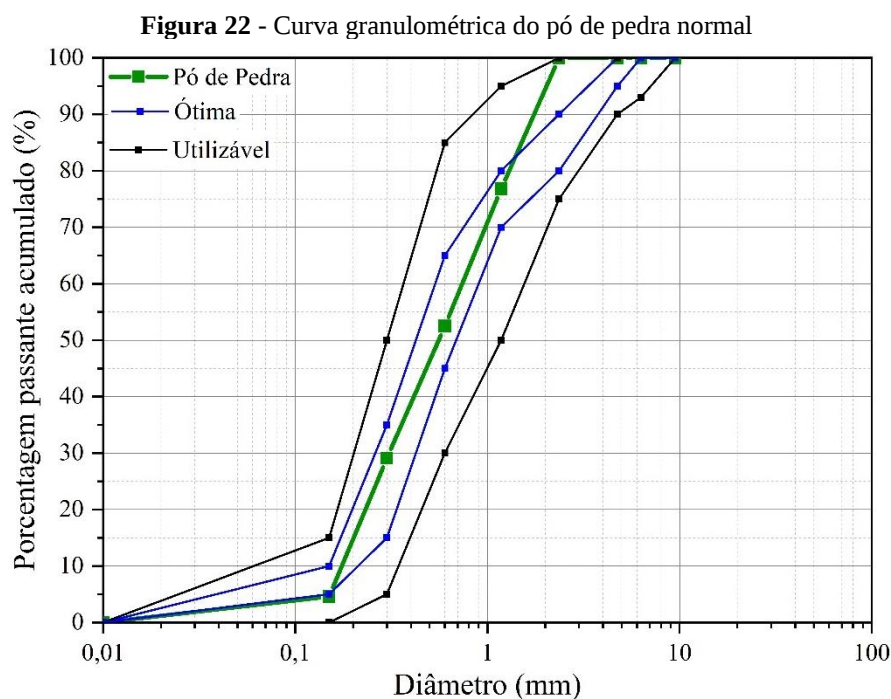
	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)
Areia Normal	2,52	1,58

Fonte: Autoria Própria, (2022).

5.2. CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA

5.2.1. Granulometria

O agregado miúdo artificial utilizado para substituir a areia também foi submetido ao ensaio de análise granulométrica, conforme a NM 248 (ABNT, 2003). Na Figura 22 é exibida a distribuição granulométrica do pó de pedra normal.



Fonte: Autoria Própria, (2022).

É possível perceber que assim como a areia, o pó de pedra em seu estado normalizado está dentro da zona utilizável. Boa parte do pó de pedra normal ficou na zona ótima, sendo as frações de menores diâmetros mais predominantes. Além disso, diferentemente da areia, o pó de pedra apresentou cerca de 5% de porcentagem passante que ficou abaixo de 0.15mm. O gráfico ainda evidencia que esses 5% decrescem de forma linear do 0.15mm até 0.01mm, indicando, assim, que é um material mais fino e pode contribuir para o efeito fíler.

No ensaio também foi possível identificar e calcular o módulo de finura (MF) para o pó de pedra. Ele possui um MF de 2,37, esse valor está em conformidade com o estudo de Macedo (2021) o qual o seu valor deu 2,44 para o pó de pedra normalizado. Com isso, MF do pó de pedra é maior que o da areia.

Validando as análises granulométricas da areia, consta-se que a areia normalizada possui curva granulométrica semelhante a do pó de pedra que também foi normalizado antes de ser submetido aos ensaios de análise granulométrica, ou seja, ambos possuem composições semelhantes, possibilitando, inclusive, apresentar o diâmetro máximo igual. Assim, com os resultados obtidos, é viável realizar uma provável substituição entre os agregados – areia pelo pó de pedra – na produção da argamassa.

5.2.2. Massa específica e massa unitária

Na Tabela 10 estão os resultados obtidos com o ensaio de massa específica e massa unitária, na devida ordem, para a areia natural.

Tabela 10 - Massa específica e massa unitária da areia natural		
	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)
Pó de pedra	2,55	1,46

Fonte: Autoria Própria, (2022).

Ao comparar os valores da massa específica da areia e do pó de pedra, constata-se que o agregado que possui o maior valor é o pó de pedra, visto que ele apresenta mais partículas finas e menores que a areia, assim, ele possui um grau mais elevado de concentração de massa em relação ao volume que ocupa. No entanto, o pó de pedra possui uma massa unitária menor que a da areia, com valor de 1,46 g/cm³. Os resultados estão

em conformidade com os obtidos por Macedo (2021) de 2,64 g/cm³ de massa específica e 1,47 g/cm³ de massa unitária.

5.3. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO

A Tabela 11 mostra o resultado obtido da massa específica do cimento usado na pesquisa, de acordo com a norma da NM 52 (ABNT, 2009).

Tabela 11 - Massa específica do cimento	
Cimento	Massa específica (g/cm³)
CP-V-ARI	3,09

Fonte: Autoria Própria, (2022).

O resultado obtido com a realização do ensaio assemelha-se com os encontrados na literatura para o cimento CP-V-ARI, como por exemplo, Ribeiro (2015) que possui 3,11 g/cm³.

5.4. CARACTERIZAÇÃO DO CAULIM

A Tabela 12 apresenta o resultado da massa específica do caulim, obtido através da norma NM 52 (ABNT, 2009).

Tabela 12 - Massa específica do caulim	
Aglomerante	Massa específica (g/cm³)
Caulim	2,47

Fonte: Autoria Própria, (2022).

É possível perceber que o valor de massa específica do caulim está próximo aos valores encontrados na literatura tal como o de Azerêdo (2012) que possui massa específica igual a 2,58 g/cm³, além deste, tem-se ainda Rocha (2005) que encontrou 2,61 g/cm³.

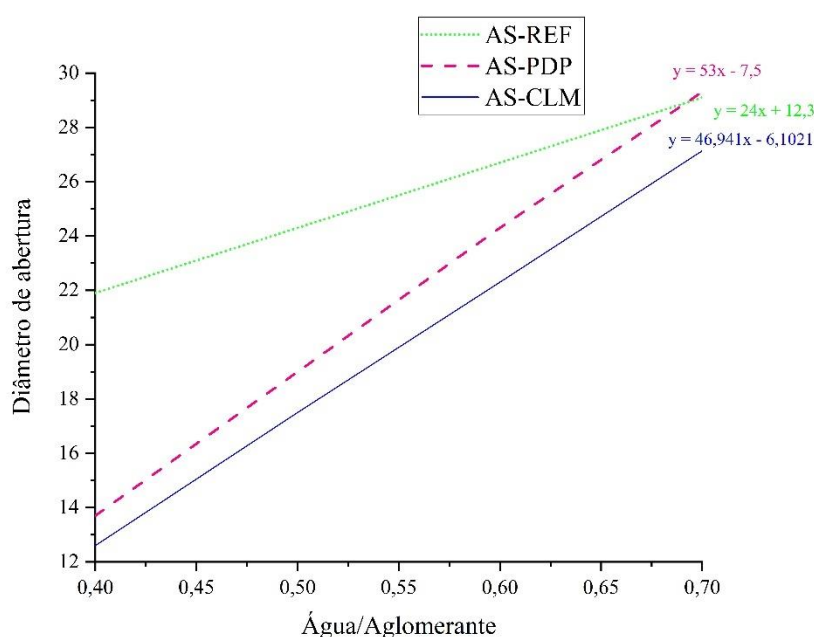
5.5. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

5.5.1. Estado Fresco

5.5.1.1. Consistência

A Figura 23 mostra os resultados da relação água/aglomerante com o diâmetro de abertura das argamassas: AS-REF, AS-PDP e AS-CLM, obtidos no ensaio de consistência.

Figura 23 - Ensaio de Consistência



Fonte: Autoria Própria, (2022).

O traço AS-CLM se destaca por ser o que mais precisa de água para ter uma boa trabalhabilidade, ou seja, o que mais precisou de água para atender os parâmetros ideais de consistência. E ainda, o traço AS-PDP precisou de mais água quando comparado ao AS-REF. A Tabela 13, mostra a relação água/aglomerante obtida através das equações do gráfico.

Tabela 13 - Relação água/aglomerante do ensaio de consistência

Argamassa	Relação água/aglomerante
AS-REF	0,53
AS-PDP	0,61
AS-CLM	0,67

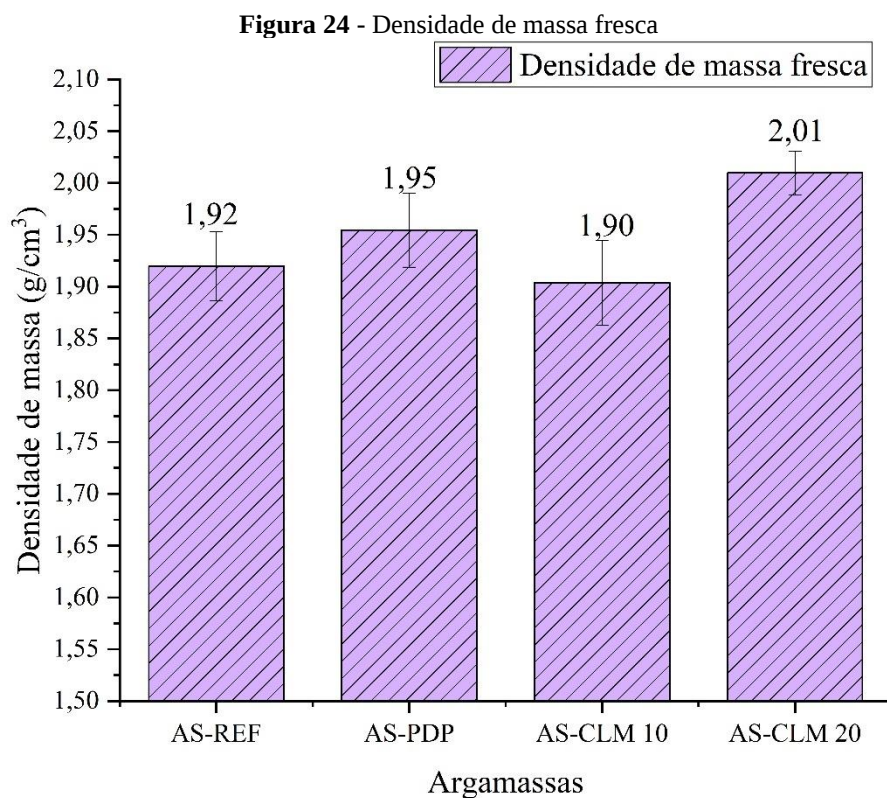
Fonte: Autoria Própria, (2022).

De acordo com os resultados mostrados na Figura 23, a presença do pó de pedra influencia diretamente na relação água/cimento da argamassa. Arnold (2011), relata que argamassas com areia necessitam de menos água do que argamassas com pó de pedra para atingir a consistência ideal, e que esse fato se deve, provavelmente, à forma dos grãos, pois na argamassa com areia os grãos são mais arredondados e escorregam de forma mais fácil. O resultado corrobora ainda com Macedo (2021).

O ensaio de índice de consistência com as quantidades estabelecidas, indica que a presença de partículas de caulim na composição das argamassas proporcionou um aumento na quantidade de água necessária para se obter uma boa trabalhabilidade. O caulim é constituído basicamente de caulinita e mica, e apresentam uma estrutura lamelar, conforme Lagerblad, Gram e Westerholm (2014) e Oliveira (2016), argamassas que contem materiais com baixa esfericidade necessitam de uma quantidade de água maior para se obter a trabalhabilidade adequada.

5.5.1.2. Densidade de massa no estado fresco

A Figura 24 apresenta os resultados obtidos na realização do ensaio de densidade de massa fresca.



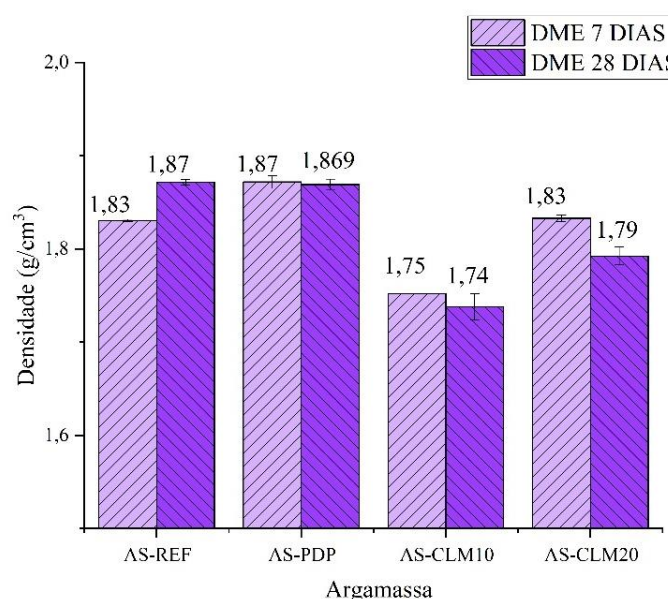
Fonte: Autoria Própria, (2022).

Percebe-se que a argamassa AS-CLM10 possui a menor densidade de massa, seguida pela AS-REF. Enquanto as argamassas AS-CLM20 e AS-PDP possuem as maiores densidade de massa. Esse fato pode ser explicado pela presença do pó de pedra em sua composição, visto que a massa específica do pó de pedra é maior que a da areia normal. Além disso, apesar de menor, a massa específica do caulim é semelhante a do cimento o que explica o aumento da densidade ser influenciada em especial pela presença do pó de pedra, esses resultados corroboram com os resultados obtidos por Rosa (2013) no qual a presença do pó de pedra aumenta a densidade de massa no estado fresco.

5.5.2. Caracterização das argamassas no estado endurecido

5.5.2.1. Densidade de massa no estado endurecido

Os resultados obtidos no ensaio de densidade de massa no estado endurecido estão indicados na Figura 25.

Figura 25 - Densidade de massa endurecida

Fonte: Autoria Própria, (2022).

Em 7 dias, a argamassa que apresentou a melhor densidade foi a AS-CLM10, enquanto as argamassas AS-PDP e AS-CLM20 apresentam resultados maior e igual, respectivamente, quando comparada a AS-REF. Ao passar do tempo, com 28 dias, é possível observar que os valores da densidade diminuíram com exceção da AS-REF que aumentou.

A AS-CLM20 possui densidade maior tanto em 7 como em 28 dias, no entanto, quando conferimos os valores com AS-REF, é possível notar que com 7 dias, a AS-CLM20 possui o mesmo valor, porém, com 28 dias, o comportamento varia, ou seja, a AS-REF possui uma densidade maior.

Para a AS-PDP, em razão das características da areia de britagem e por possuir maior massa específica, este material acarretou numa argamassa com maior densidade que a AS-REF nos 7 primeiros dias, no entanto, com 28 dias, foi a AS-PDP que apresentou melhor densidade, porém, a diferença não é significativa. Além disso, é possível notar que AS-CLM20 comparada com a AS-PDP apresenta menor densidade endurecida. Ainda, é possível notar que tanto as amostras da AS-REF e da AS-PDP apresentaram desvios padrões pequenos, o que evidencia que são argamassas homogêneas, ou seja, com resultados próximos da média. Assim, trocar a areia por pó de pedra não deixa as argamassas heterogêneas.

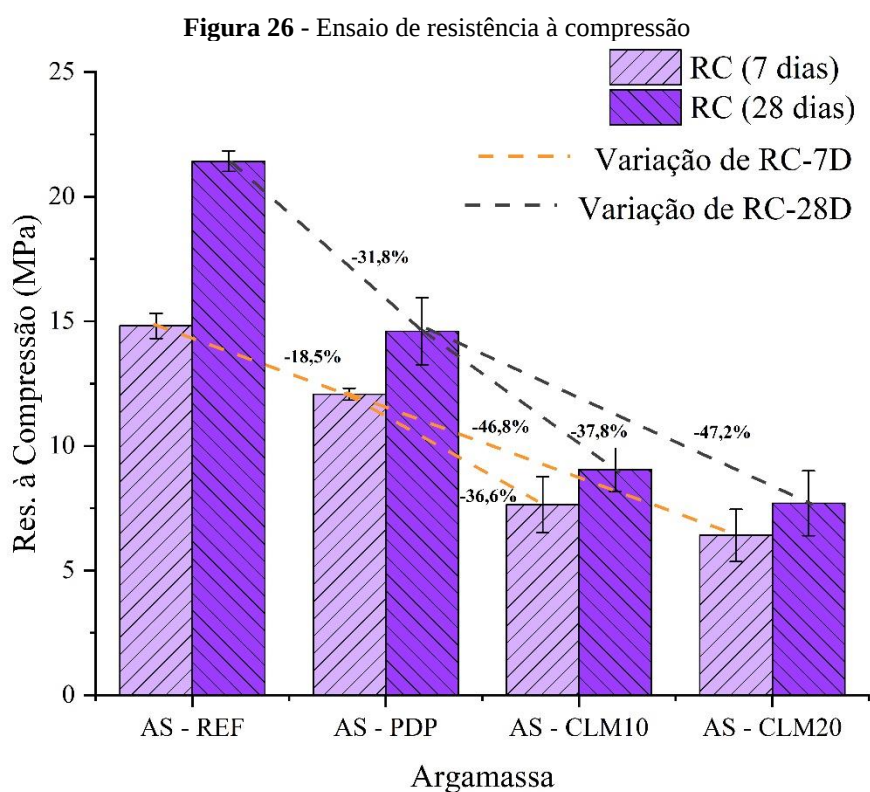
5.5.2.2. Resistência à compressão

Os resultados correspondentes ao ensaio de resistência à compressão das quatro argamassas estudadas, aos 7 e 28 dias, estão dispostos na Tabela 14 e ilustrados Figura 26.

Tabela 14 - Resultados da resistência à compressão

Argamassa	RC-7D (MPa)	RC-28D (MPa)
AS-REF	14,81	21,42
AS-PDP	12,08	14,60
AS-CLM10	7,65	9,06
AS-CLM20	6,41	7,70

Fonte: Autoria Própria, (2022).



Fonte: Autoria Própria, (2022).

Nota-se um aumento de resistência à compressão quando se analisa as diferentes idades dos corpos de prova. Ao verificar os valores das resistências em 7 e 28 dias, é possível perceber que em todas as argamassas houveram aumentos consideráveis, no entanto, nenhuma argamassa atingiu a resistência da referência.

Além disso, quando se compara a AS-REF com a AS-PDP, é possível notar que a resistência da referência é maior, e isto acontece, provavelmente, pelo aumento da relação água/aglomerante e é influenciado pela forma dos grãos do PDP em comparação à areia. Ainda, é possível notar que a resistência da AS-PDP não aumenta de forma significativa.

E por fim, quando se analisou a resistência das argamassas AS-PDP, AS-CLM10 e AS-CLM20 verificou-se que a AS-CLM10 teve um decréscimo de 36,6% em 7 dias e em 28 dias o decréscimo foi de 37,8% em relação à AS-PDP. A AS-CLM20, por sua vez, quando em comparação com a AS-PDP houve um decréscimo 46,89% em 7 dias e 47,2% em 28 dias. A comparação foi feita devido ao fato de todas essas composições terem o pó de pedra como agregado. Ao relacionar a AS-CLM10 e a AS-CLM20, nota-se que tanto com 7 e 28 dias, a resistência à compressão é maior na AS-CLM10. Essas diferenças podem ser explicadas pela presença do caulim em suas composições, ao passo que quanto maior a porcentagem da substituição do cimento pelo caulim, menor é a resistência a compressão, uma hipótese para tal fato é que o caulim utilizado para a produção pode não ter efeito pozolânico. O resultado encontrado, corrobora com o encontrado por Rocha *et al.*, (2008).

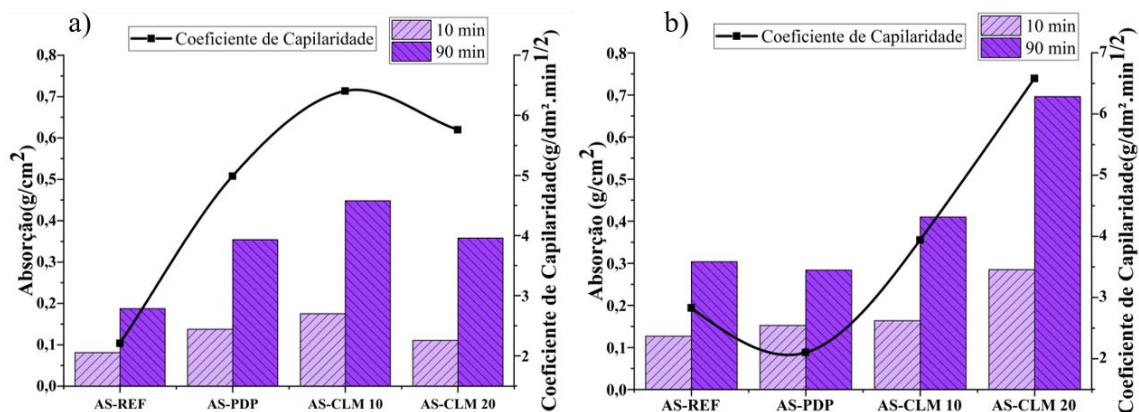
5.5.2.3. Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

A Tabela 15 apresenta os resultados referentes à absorção de água por capilaridade. A Figura 27-a ilustra os resultados em 7 dias, enquanto a Figura 27-b representa os resultados referentes a 28 dias, ambas nos tempos de 10 e 90 minutos.

Tabela 15 - Resultado do ensaio de absorção de capilaridade						
Argamassa	Absorção-7D(g/cm³)		CC-7D (g/dm².min^{1/2})	Absorção-28D(g/cm³)		CC-28D (g/dm².min^{1/2})
	10 min	90 min		10 min	90 min	
AS-REF	0,081	0,187	1,7	0,127	0,304	2,83
AS-PDP	0,137	0,354	3,47	0,152	0,284	2,1
AS-CLM10	0,175	0,448	4,37	0,164	0,410	3,94
AS-CLM20	0,111	0,358	3,96	0,285	0,696	6,58

CC – Coeficiente de Capilaridade

Fonte: Autoria Própria, (2022).

Figura 27 - Ensaio de capilaridade a) com 7 dias e b) com 28 dias.

Fonte: Autoria Própria, (2022).

É possível observar que com 7 dias os valores de absorção aumentaram de forma considerável em 90 min, em especial das argamassas que contêm caulim em sua composição. Com 28 dias, essa afirmação fica ainda mais evidente, e nota-se que quanto maior a quantidade de caulim em sua composição maior será o índice de absorção da água, confirmando o estudo de Azerêdo (2012).

A maior razão para o aumento da permeabilidade está de fato, relacionada com o maior teor de água nas argamassas com caulim, como confirma Nakakura e Cincotto (2004), que durante o tempo de cura, a água evaporada pode ter desenvolvido vazios capilares, que são poros interligados e permitem a absorção de água.

Além disso, quando se compara o resultado obtido com o de resistência à compressão, percebe-se que quanto maior a resistência da argamassa menor será a absorção por capilaridade. Por isso, que tanto com 7 como com 28 dias, os menores valores de resistência se deram na AS-CLM20. Assim, os resultados obtidos na pesquisa estão em conformidade com o trabalho de Azerêdo (2012).

5.6. DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS

Para determinar o melhor desempenho nas argamassas modificadas com as substituições do caulim e do pó de pedra, do ponto de vista técnico e ambiental, foi feita uma comparação das suas propriedades no estado endurecido. Os resultados de resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e densidade de massa endurecida foram normalizados e convertidos em um diagrama ternário, conforme a Figura 28. A Tabela 16 mostra os valores antes da normalização.

Tabela 16 - Dados antes da normalização

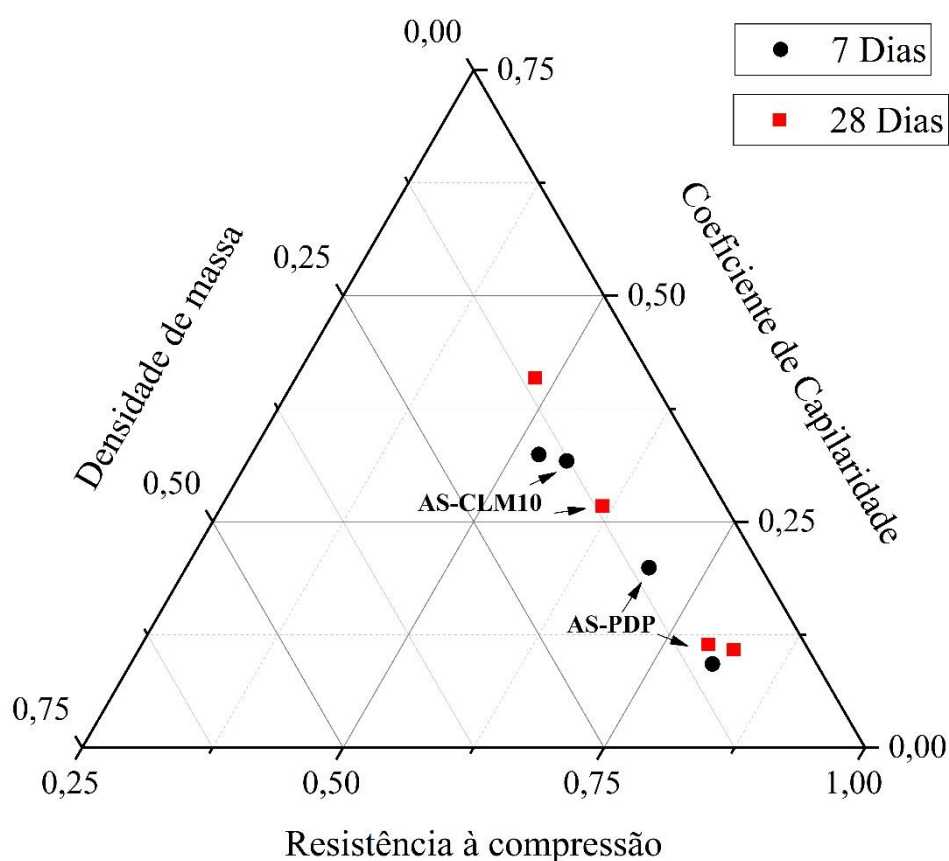
Argamassa	CC-7D (g/dm ² . min ^{1/2})	RC-7D (MPa)	DME-7D (g/cm ³)	CC-28D (g/dm ² . min ^{1/2})	RC-28D (MPa)	DME-28D (g/cm ³)
AS-REF	1,7	14,81	1,83	2,83	21,42	1,87
AS-PDP	3,47	12,07	1,87	2,10	14,6	1,87
AS-CLM10	4,37	7,65	1,75	3,94	9,06	1,74
AS-CLM20	3,96	6,41	1,83	6,58	7,7	1,79

CC – Coeficiente de Capilaridade; RC – Resistência à Compressão; DME – Densidade de Massa Endurecida.

Fonte: Autoria Própria, (2022).

Para realizar a normalização, foi utilizada a metodologia proposta por Tavares *et al.*, (2022), em que uma soma absoluta dos valores das respectivas propriedades para um total considerado é calculado.

Figura 28 - Desempenho das argamassas



Fonte: Autoria Própria, (2022).

Quando se compara as argamassas com substituição parcial de caulim, nota-se que a melhor composição é AS-CLM10, visto que possui um coeficiente de capilaridade menor e resistência à compressão maior, pois são inversamente proporcionais. O qual comprova que quanto maior a quantidade de caulim na argamassa, maior o coeficiente de capilaridade, ou seja, mais poros e vazios ficará no corpo de prova após seco, e consequentemente, menor será a resistência a compressão. Por isso, que a AS-CLM10 é o melhor traço quando comparada à AS-CLM20. A AS-PDP por sua vez, obteve resultados pertinentes, visto que mostrou características parecidas com a AS-REF a qual obteve o melhor resultado dentre as argamassas estudadas.

Assim, corroborando com os estudos de Rocha *et al.*, (2008) quanto menor a quantidade de caulim, melhor será o seu comportamento nas propriedades do estado endurecido.

6. CONCLUSÃO

A indústria civil é a que mais gera resíduos, reverter tal situação vem se tornando ainda mais indispensável para a sustentabilidade e preservação dos recursos naturais. Com isso, o presente trabalho procurou investigar o uso do caulim e do pó de pedra, como constituintes das argamassas. Para isso, foi estudado suas propriedades no estado fresco e endurecido, chegando à algumas conclusões pertinentes.

A caracterização dos materiais constatou que o pó de pedra apresenta resultados pertinentes quanto a substituição da areia e ainda, com a determinação foi possível atestar que o cimento é mais denso que o caulim.

A caracterização do estado fresco indicou que a AS-REF possuiu a menor relação água/aglomerante, esse fato ocorreu devido as argamassas AS-PDP e AS-CLM possuírem uma maior quantidade de finos e conseqüentemente demandaram mais água para obter uma boa trabalhabilidade de massa e consistência.

Com relação a resistência à compressão das argamassas, a composição que apresentou o melhor resultado foi a AS-REF em ambas as idades ensaiadas. Com 28 dias, a AS-PDP alcançou uma queda de 31,8% em relação à AS-REF, enquanto que a AS-CLM10 e AS-CLM20 apresentaram uma queda de 37,8 e 47,2%, respectivamente, em relação à AS-PDP. Os resultados de absorção de água por capilaridade comprovam que com o passar do tempo AS-CLM20 aumenta a quantidade de poros provocada pela ausência de água ao decorrer dos dias, enquanto a AS-CLM10 também aumenta, no entanto, quando comparada com a AS-CLM20, aumenta em proporções menores.

De modo geral, os resultados obtidos nesta pesquisa mostram que a melhor composição com o resíduo do caulim é a AS-CLM10, visto que tanto em 7 como em 28 dias, ela foi a que mais se destacou por possuir o melhor coeficiente de capilaridade e a maior resistência à compressão.

Para trabalhos futuros, podem ser realizados as variações dos teores de substituição, substituir o CLM+PDP pela areia natural, avaliar possíveis manifestações patológicas nas argamassas com CLM e PDP nas substituições pelo cimento e pela areia, e avaliar a durabilidade dos materiais alternativos.

REFEÊNCIAS

ANJOS, C. M.; NEVES, G. A. Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal, **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6, p.91-96, 2011.

ARNOLD, D. C. M.. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. 2011. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). **A versatilidade do cimento brasileiro**. ABCP, 2022. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/tipos/>. Acesso em: 05 julho 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (São Paulo). **Básico sobre Cimento**. 2022. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/>. Acesso em: 07 maio 2022.

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

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **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, 2005b.

_____. **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, 2005c.

_____. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

_____. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa.

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 7214**: Areia Normal para Ensaio de Cimento - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

_____. **NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NM 45: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NM 52: agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AZERÊDO, A. F. N. de. **Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais.** 2012. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-Pe, 2012.

BATTAGIN, A. F. (São Paulo). Associação Brasileira de Cimento Portland. **Uma breve história do Cimento.** 2022. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/#:~:text=Em%201824%2C%20o%20construtor%20ingl%C3%AAs,as%20pedras%20empregadas%20nas%20constru%C3%A7%C3%B5es.>. Acesso em: 09 abr. 2022.

BAUER, L. A. F.. **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 2 v.

BOTELHO, G, D.. **Tipos de areia e a construção civil.** 2020. Disponível em: <https://www.minasjr.com.br/tipos-de-areia-e-a-construcao-civil/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2^aed. São Paulo, IBRACON, 2010. Vol.1, p. 893-943.

CARASEK, H.; ARAÚJO, R. C.; CASCUDO, O.; ANGELIM, R.. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, [s. l], v. 21, n. 3, p. 714-732, jun. 2016.

CASTRO, W. A. de M. **Incorporação de resíduos de caulim em argamassas para o uso na construção civil.** 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, **Boletim Técnico** n.68, 1995.

DIAS, S. L. **Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil- avaliação da atividade pozolânica.** 2010. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

DRAGO, C., VERNEY J. C. K. de., PEREIRA, F. M. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto - MG, v. 62, n. 3, p. 399-408, jul. set. 2009.

FEIJÃO NETO, F. G. **DEPOSIÇÕES IRREGULARES DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA CIDADE DE PARNAÍBA-PI**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

GARCIA, E. JUNIOR, M. C. QUARCIONI, V. A. CHOTOLI, F. F. Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma Alternativa como Material Pozolânico. **Cerâmica Industrial**, v. 19, nº 4. 2014.

GUIMARÃES, J. E. P., **Fundamentos e Aplicações em Engenharia Civil**. 2 ed. São Paulo: editora PINI, 2002.

INGUZA, M. P. D.; JÚNIOR, O. F. S.; COSTA, C. G. Recycling of kaolin processing waste as aggregate in asphalt concrete. **Materials Science Forum**, v.717, p.21-29, 2014.

LAGERBLAD, B.; GRAM, H.E.; WESTERHOLM, M. Evaluation of the quality of fine materials and filler from crushed rocks in concrete production. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 67, p. 121-126, set. 2014. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.029>.

LA SERNA, H. A. de; REZENDE, M. M. **Agregados para a Construção Civil**. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acesso em: 06 ago. 2022.

LUZ, A. B., CAMPOS, A. R., CARVALHO, E. A. e BERTOLINO, L. C., 2005, **Caulim - Usos e Especificações**. Rochas e Minerais Industrias, 1 ed., cap. 11, pp. 237 – 255 Rio de Janeiro, Brasil, Centro de Tecnologia Mineral.

LUZ, A. B. da; ALMEIDA, S. Luiz M. de (ed.). **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2012. 433 p.

LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A. Operações de Beneficiamento de Rochas. In: LUZ, Adão Benvindo da. **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2012. Cap. 9. p. 167-179.

M. C.; NEVES, R. F. Characterization and Technological Applications for Kaolin Processing Wastes. **Materials Science Forum**, v.727-728, p.697-702, 2012.

MACEDO, J. W. N. de. **Argamassa de revestimento produzida a partir da substituição do agregado natural por resíduo de scheelita e pó de pedra**. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

MARTELLI, M. C.; NEVES, R. F. Caracterização e Aplicações Tecnológicas de Resíduos de Processamento de Caulim. **Scientific Net**. Suíça, p. 697-702. ago. 2012.

MÁRTIRES, R. A. C. **Caulim**. 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/6-2-caulim>. Acesso em: 07 maio 2022.

MATTANA, A. J., MEDEIROS, M. H. F., SILVA, N. G., COSTA, M. R. M. M. C. Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 63-79, out. dez. 2012.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHIEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1-21, 04 set. 2022.

MONTE, M. B. M.; CARVALHO, E. A.; FERREIRA, O.; CABO, S. S., “**Caulim CADAM**”. Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil, 1 ed., cap. 01, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

MURRAY, Haydn H.. **Applied clay mineralogy: Occurrences, Processing and Applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskitesepiolite, and Common clays (Development in Clay Science)**. 1st ed. Elsevier, Oxford, UK, 2007.

NAKAKURA, E. H. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a Meruc**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), USP, São Paulo, 2003.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2004.

NÓBREGA, A. F. **Potencial de Aproveitamento de Resíduos de Caulim Paraibano Para o Desenvolvimento de Argamassas de Múltiplo Uso**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2007.

NOBRE, L. L. S.; ACCHAR, W. **Aproveitamento de rejeitos de mineração de caulim em cerâmica branca**. Holos, v.26, n.3, 2010.

OLIVEIRA, G. C. de. **Desenvolvimento de argamassa colante utilizando resíduo de caulim**. 2016. 71 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

RAMOS FILHO, R. E. B. **Estudo da combinação de resíduo de scheelita, pó de pedra e manipeira com aglomerantes para produção de tijolos ecológicos**. 2021. 155f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2012. 188 p.

RIBEIRO, A. O. **Estudo do resíduo da lapidação de vidro para a incorporação em argamassas de cimento portland**. 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

RIBEIRO, C. C. B; SOUSA, J. G. G. de. Modelagem estatística de misturas de argamassa com areia normal brasileira. In: congresso brasileiro do concreto, 61., 2019, Rio de Janeiro. **Anais [...]** . [S.L.]: Ibracon, 2019. p. 1-8. 10.13140/RG.2.2.27273.36961

RIBEIRO, K. F. A.; BRANCO, Ma. P. V.; VALIN JUNIOR, M. de O.; ALMEIDA, É. S. de. Estudo da substituição da areia pelo pó de pedra como agregado miúdo em argamassa / estudo de substituição de areia por pó de pedra como agregado fino em argamassa. In: ENCONTRO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL, 4., 2016, Cuiabá. **Proceedings [...]** . Cuiabá: Reearchgate, 2016. v. 1, p. 1-9.

RIOFRIO, A.; CORNEJO, M.; BAYAKARA, H. Environmental performance of bamboo fibers and sugarcane bagasse reinforced metakaolin-based geopolymers. **Case Studies In Construction Materials**, [S.L.], v. 17. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01150>.

ROCHA, A. K. A. da. **Incorporação de resíduo de caulim em argamassa de alvenaria**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

ROCHA, A. K. de A. da; MENEZES, R. Ro.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C.; MELO, W. A. de. Argamassas mistas para alvenaria utilizando resíduo de caulim: parte i: comportamento mecânico. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 4, p. 505-512, dez. 2008.

ROMANO, R. C. de O., CINCOTTO, M. A. e PILEGGI, R. G. Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído [online]**, v. 18, n. 2, pp. 289-308, 2018.

ROSA, M. da. **Análise do efeito do teor de microfinos nas propriedades das argamassas de revestimento com utilização de areia de britagem basáltica**. 2013.113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola politécnica, Unisinos, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

SAMPAIO, J. A.; CARVALHO, E. A.; PIQUET, B (2001). Brita Pedreira Vigné. In: **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil**, João A. Sampaio, Adão B. Luz e Fernando Lins (Editores), p. 383-390, CETEM/2001.

SENTONE, D. T. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Sao Paulo, 2011.

SUMÁRIO MINERAL. Amauri Palhano Campos. Agencia Nacional de Mineração. **Caulim**. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/caulim_sm_2018. Acesso em: 13 jul. 2022.

TAVARES, J. C.; LUCENA, L. F.L.; HENRIQUES, G. F.; FERREIRA, R. L.s.; ANJOS, M. A.s. dos. Use of banana leaf ash as partial replacement of Portland cement in eco-friendly concretes. **Construction And Building Materials**, [S.L.], v. 346, p. 128467, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128467>.