



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
HENRIQUE RODRIGUES SANTOS

BLOCOS DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DO AGREGADO LEVE DE
ARGILA EXPANDIDA

ESTÂNCIA
2022

HENRIQUE RODRIGUES SANTOS

BLOCOS DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DO AGREGADO LEVE DE
ARGILA EXPANDIDA

Trabalho de conclusão de curso (TCC II)
apresentado ao Instituto Federal de Sergipe –
Campus Estância, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Orientadora: Prof.^a Ma. Vanessa Gentil de
Oliveira Almeida Silva

ESTÂNCIA
2022

Santos, Henrique Rodrigues.
S237b Blocos de concreto com incorporação do agregado leve de argila
expandida. / Henrique Rodrigues Santos. - Estância, 2022.
66 f.; il.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS, 2022.

Orientadora: Profa. Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva.

1. Bloco concreto. 2. Argila expandida. 3. Massa específica. I. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - IFS. II. Silva,
Vanessa Gentil de Oliveira Almeida. III. Título.

CDU: 624+624.012.8:691.32

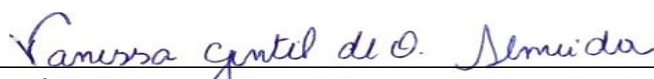
HENRIQUE RODRIGUES SANTOS

BLOCOS DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DO AGREGADO LEVE DE
ARGILA EXPANDIDA

Trabalho de conclusão de curso (TCC II)
apresentado como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel, da Coordenação do Curso
de Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Sergipe – Campus Estância.

Aprovado em: 22 / 02 / 2022

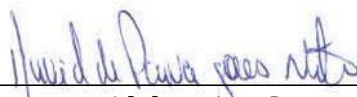
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva,
Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância



Prof. Dr. Herbet Alves de Oliveira,
Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância



Prof. Dr. David de Paiva Gomes Neto.
Instituto Federal de Sergipe – Campus Lagarto

Dedico este trabalho primeiramente a Deus -
essencial em minha vida, autor de meu destino, meu
mentor, socorro presente na hora da angústia -, ao
meu pai, Manoel, minha mãe, Edinelsa e aos meus
irmãos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado chegar até aqui, por meio da sua graça, infinita bondade e misericórdia e por ter sido minha torre forte nos momentos de angústia.

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu amor, cuidado, intercessão e dedicação me deram, em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

Aos meus irmãos: Lívia Maria, Mônica Maria, Marcos Antônio e Edenilson dos Santos, que por mais difíceis que fossem as circunstâncias, sempre tiveram paciência nos meus momentos de estresse, e acreditaram que eu conseguiria.

À comunidade evangélica de que faço parte, Igreja Unida, pois foi nesse meio que aprendi o valor e razão da minha fé, por todo apoio em oração e intercessão por mim.

Ao Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância, seu corpo docente, direção e administração, por oportunizarem a janela em que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética nele presentes.

À minha orientadora, Ma. Vanessa Gentil de Oliveira Almeida Silva, por todo suporte neste estimado tempo, por suas orientações, correções, incentivos e paciência, na elaboração desse trabalho. Muito obrigado por acreditar em mim.

Agradeço a todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre nunca fará justiça aos professores dedicados, aos quais sem nominar, deixo os meus eternos agradecimentos.

Agradeço às minhas professoras do ensino médio: Diná Rezende, Laura Ferreira, Gilvânia Ramos, Edjane Oliveira e Ana Marcelina, por todo apoio, incentivo e motivação, para eu ingressar no ensino superior, bem como todo o suporte dado durante minha graduação. Muito obrigado por acreditarem em mim.

Aos amigos, que o IFS me deu ao longo do curso de graduação: Camilla Machado, Nora Nei, Nayara Bispo, Sílvia do Amparo, Jobson Nascimento, Rainara Souza e Taiane Aparecida, que,

com espírito colaborativo, ajudaram-me durante a caminhada, por meio da compreensão, incentivo e motivação.

À família Martes, na pessoa de Creuza Alves, por todo apoio, oração e palavras motivacionais liberadas sobre mim. Muito obrigado por acreditarem em mim.

Aos colegas Veluza Anchieta e Guilherme de Andrade, por toda a ajuda ao longo dessa pesquisa.

A todos os meus amigos - particularmente Ian Christian, Elisa Brito, Alyson Oliveira, Wesley Alves, Saulo Henrique - meus sinceros agradecimentos. Vocês desempenharam um papel significativo no meu crescimento, e merecem ser recompensados com minha eterna gratidão.

À técnica do Laboratório de Materiais de Construção Jucicléa Santos, por toda ajuda e apoio na fase experimental ao longo dessa pesquisa, meu muito obrigado.

À empresa CINEXPAN S.A, pelo fornecimento dos materiais utilizados nesta pesquisa.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

“Para tudo há uma ocasião certa; há um tempo
determinado para cada propósito debaixo do céu.”
Eclesiastes 3:1

RESUMO

Os blocos de concreto com função estrutural são considerados materiais autoportantes na alvenaria, devido à sua capacidade de absorver o carregamento da edificação. Devido aos impactos ambientais causados pelo consumo exacerbado dos recursos naturais e na tentativa da redução do peso próprio da alvenaria estrutural, o uso da argila expandida como agregado leve na produção de blocos de concreto pode ser uma alternativa viável, pelo fato desse material possuir uma estrutura interna porosa que possibilita obter uma menor massa específica. Mediante o exposto, este trabalho tem como objetivo principal estudar como a incorporação da argila expandida nos teores de 25%, 50%, 75% e 100%, com dimensão de 5 mm (0500), em substituição parcial e total do agregado graúdo natural pode influenciar nas propriedades físicas e mecânica do bloco de concreto. Foram dosadas cinco formulações, com sete amostras cada. Todas as matérias primas foram caracterizadas de acordo com as prescrições normativas. Os blocos de concreto foram ensaiados para determinação da absorção de água, massa específica e resistência à compressão, após cura ao ar aos 28 dias. Diante dos resultados, pôde-se concluir que com o aumento dos teores de incorporação da argila expandida maior foi a absorção de água, estando dentro dos requisitos da ABNT NBR 6136:2016 apenas os blocos BL25% e BL50%, com absorção menor que 13%. Em relação a massa específica todos os blocos de concreto com argila expandida obtiveram massas menores que 2000 kg/m³ suficiente para serem considerados blocos de concreto leves. Em termos de resistência à compressão, somente a formulação de referência atendeu os requisitos de resistência mínima $\geq 3,0$ MPa, pela ABNT NBR 6136:2016 para serem considerados blocos com ou sem função estrutural.

Palavras-Chave: Bloco concreto. Argila expandida. Massa específica.

ABSTRACT

The blocks concrete with structural function are considered self-supporting materials in masonry, due to their ability to absorb the load of the building. Due to the environmental impacts caused by the exacerbated consumption of natural resources and in an attempt to reduce the own weight of structural masonry, the use of expanded clay as a light aggregate in the production of concrete blocks can be a viable alternative, because this material has a structure porous interior that makes it possible to obtain a lower specific mass. Based on the above, this work has as main objective to study how the incorporation of expanded clay in the contents of 25%, 50%, 75% and 100%, with a dimension of 5 mm (0500), in partial and total replacement of the natural coarse aggregate can influence the physical and mechanical properties of the concrete block. Five formulations were dosed, with seven samples each. All raw materials were characterized in accordance with regulatory requirements. The concrete blocks were tested to determine water absorption, specific mass and compressive strength, after curing in air at 28 days. In view of the results, it was possible to conclude that with the increase in the incorporation levels of expanded clay, the greater the absorption of water, being within the requirements of ABNT NBR 6136:2016 only the blocks BL25% and BL50%, with absorption less than 13 %. Regarding the specific mass, all concrete blocks with expanded clay obtained masses smaller than 2000 kg/m³, enough to be considered light concrete blocks. In terms of compressive strength, only the reference formulation met the minimum strength requirements ≥ 3.0 MPa, by ABNT NBR 6136:2016 to be considered blocks with or without structural function.

Keywords: Block concrete. Clay expanded. Specific mass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Granulometria das argilas expandidas.....	31
Figura 2 - Fluxograma do programa experimental da pesquisa.....	36
Figura 3 (a) e (b) - Moldagem do bloco de concreto.....	42
Figura 4 - Desforma e cura ao ar.....	42
Figura 5 - Processo para o ensaio de massa específica e absorção de água.....	43
Figura 6 - Determinação da massa imersa: (a) Adaptação da aparelhagem	43
Figura 7 - Capeamento dos blocos de concreto.....	44
Figura 8 - Prensa Pavitest com bloco posicionado.....	44
Figura 9 - Rompimento dos blocos: (a) Bloco referência	45
Figura 10 - Rompimento dos blocos: (a) 75% de argila expandida	45
Figura 11 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural.....	48
Figura 12 - Curva granulométrica dos agregados graúdos.....	49
Figura 13 - Resultado da absorção de água nos blocos de concreto.....	52
Figura 14 - Resultado de massa específica dos blocos de concreto.....	54
Figura 15 - Resultado de resistência à compressão aos 28 dias.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos para absorção de água.....	27
Tabela 2 - Requisitos para resistência à compressão axial.....	29
Tabela 3 - Tipos, diâmetros, densidade e utilização das argilas expandidas.....	31
Tabela 4 - Formulações de um bloco de concreto em massa.....	41
Tabela 5 - Propriedades físicas e mecânica do cimento CP II-F 32.....	46
Tabela 6 - Análise granulométrica do agregado miúdo natural.....	48
Tabela 7 - Análise granulométrica dos agregados graúdos.....	49
Tabela 8 - Resultado de massa unitária e massa específica dos agregados.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA - Análise de Variância

PAST - Paleontological Statistics

BL_{REF} - Bloco de Referência

BL_{25%} - Bloco com 25% de argila expandida

BL_{50%} - Bloco com 50% de argila expandida

BL_{75%} - Bloco com 75% de argila expandida

BL_{100%} - Bloco com 100% de argila expandida

CP - Cimento Portland

CP II Z - Cimento Portland composto com material pozzolânico

CP V ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

CP V ARI RS - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial e Resistente a Sulfatos

CP II-E - Cimento Portland composto com escória granulada de alto forno

CP II-F - Cimento Portland composto com material carbonático

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

NBR - Norma Brasileira

NM - Norma Mercosul

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SE - Sergipe

SP - São Paulo

USP - Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

cm - Centímetro

f_{bk} - Resistência Característica à Compressão

g - Grama

kg – Quilograma

g/cm³ - Grama por centímetro cúbico

kg/m³ - Quilograma por metro cúbico

m³ - metro cúbico

MPa - Mega Pascal

KN – Quilonewton

T - Tonelada

mm - Milímetro

min - Minuto

m_s - Massa seca em estufa

m_i - Massa saturada em água após a imersão e fervura

m_{sat} - Massa saturada imersa em água após fervura

μm - Micrómetro

% - Porcentagem

°C - Grau Celsius

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO DE CONCRETO	21
2.1.1	Contexto histórico	21
2.1.2	Composição dos blocos de concreto	23
2.1.3	Produção dos blocos de concreto	25
2.1.4	Propriedades dos blocos de concreto	27
2.1.4.1	<i>Absorção de água</i>	27
2.1.4.2	<i>Resistência à compressão</i>	28
2.2	AGREGADO LEVE	30
2.2.1	Estrutura interna e porosidade das argilas	31
2.2.2	Propriedades dos blocos de concreto com agregados leves	32
2.2.2.1	<i>Absorção de água e Massa específica</i>	32
a)	Agregados leves: Argila expandida e Vermiculita	32
b)	Agregados leves: Poliuretano e Poliestireno	33
2.2.2.2	<i>Resistência à compressão</i>	33
a)	Agregados leves: Argila expandida e Vermiculita	34
b)	Agregados leves: Poliuretano e Poliestireno	34
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	36

3.1	MATERIAIS	37
3.1.1	Cimento Portland	37
3.1.2	Agregado miúdo	38
3.1.3	Agregado graúdo	39
3.1.4	Água	40
3.2	MÉTODOS	41
3.2.1	Procedimento de dosagem e moldagem dos corpos de prova	41
3.2.2	Ensaio dos blocos de concreto no estado endurecido	42
3.2.2.1	<i>Absorção de água e Massa específica</i>	42
3.2.2.2	<i>Resistência à compressão</i>	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	46
4.1.1	Cimento Portland	46
4.1.2	Propriedades físicas dos materiais	47
4.1.2.1	<i>Análise Granulométrica</i>	47
a)	Agregado miúdo natural – Areia	47
b)	Agregados graúdos – Pedrisco e Argila expandida	49
c)	Massa unitária e Massa específica	50
4.2	PROPRIEDADES DOS BLOCOS DE CONCRETO	51
4.2.1	Absorção de água	51
4.2.2	Massa específica	53
4.2.3	Resistência à compressão	55
5.	COSIDERAÇÕES FINAIS	58
5.1	CONCLUSÕES	58
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
	REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

Os blocos de concreto são amplamente empregados nas construções em todo o mundo, por apresentarem dimensões mais precisas, redução da mão de obra e maior produtividade, sendo uma alternativa que apresenta melhor custo-benefício no projeto final de uma obra. Além disso, esse bloco possui a maior resistência dentre os outros tipos utilizados no mercado e, no caso da alvenaria estrutural, pode suportar o peso de toda a construção, sem a necessidade de vigas e pilares, ou seja, é autoportante. Ainda possui como vantagem a alta capacidade de isolamento térmico e acústico (MULLER, 2015).

Apesar de representarem um conceito prático e ágil nas edificações, os blocos de concreto apresentam alguns pontos que podem ser melhorados. Em alguns casos, é feita a substituição dos agregados por materiais com menor peso específico, o que poderá proporcionar alguns benefícios notáveis, como redução da carga total das edificações, acelerando, portanto, o processo de conclusão e custo-benefício das obras (MICHEVIZ; SANTOS; TEIXEIRA, 2011).

O setor da construção civil consome grandes volumes de matérias-primas, o que, por consequência, gera um grande impacto ao meio ambiente. Atualmente, com o surgimento de novas tecnologias e a incorporação de materiais alternativos, faz-se necessária a elaboração e a execução de projetos que sigam as diretrizes da sustentabilidade (SELUNG, et al., 2013).

Uma alternativa bastante viável que possibilita a substituição dos recursos naturais pelos industriais é o uso da argila expandida como agregado leve (PEREIRA, 2012). Esse material é constituído de uma crosta microporosa rígida e de alta resistência, com o interior formado por uma massa cerâmica porosa, possuindo como características principais a baixa massa específica e os isolamentos térmico e acústico (CINEXPAN, 2021).

Portanto, alguns pesquisadores se propõem a explorar as características desse material. Micheviz, Santos e Teixeira (2011) avaliaram o uso da argila expandida com dimensão de 15 mm (1506) e da vermiculita em blocos de concreto. Entre os traços estudados, o de 1:2:2 (cimento: areia: brita calcária), foi utilizado como referência, apresentando melhores resultados em termos de massa específica 2200 kg/m^3 e resistência à compressão com 8,93 MPa. Com a substituição total da brita calcária por argila expandida e 8,77% do agregado miúdo natural pela vermiculita, pôde ser constatado que a resistência à compressão atingiu valor médio de 4,5 MPa, sendo classificado como bloco de concreto com função estrutural de classe B, pelas prescrições

da ABNT NBR 6136:2016. Em relação à massa específica, o valor foi reduzido em 33,6% quando comparado ao bloco de referência. Devido à sua alta porosidade, a argila expandida proporciona uma redução da resistência mecânica e da massa específica. Por outro lado, uma importante característica é a boa aderência entre a argila expandida e a pasta hidratada de cimento que a envolve, resultando em um intertravamento mecânico, o que pode garantir uma resistência satisfatória para ser tratado como um elemento estrutural.

Eustáquio, et al., (2016) realizaram uma análise das propriedades dos blocos de concreto leve visando ao atendimento da norma de desempenho ABNT NBR 15575-1:2021. O traço de referência possui o cimento CP II Z – 32, areia natural, cascalho e o pó de pedra. Foram utilizados teores de 25%, 50%, 75% e 100% de argila expandida (0500) e 3% de vermiculita nas amostras. Com a substituição total do agregado graúdo por 100% de argila expandida, ocorreu um aumento da absorção de água, reduções de 12% na massa específica e de 39,4% na resistência à compressão, comparado com o bloco de referência, sendo classificado segundo a ABNT NBR 6136:2016 como bloco de concreto com ou sem função estrutural de classe C. Para o autor, o uso da vermiculita e da argila expandida em blocos de concreto fez com que houvesse essa redução da massa e aumento na absorção devido a estrutura porosa do material. Com relação à redução da resistência mecânica, afirma que os agregados leves possuíam resistência inferior ao agregado utilizado no bloco de referência.

Tendo em vista a busca pelo desenvolvimento de novos materiais e a redução do peso próprio nas estruturas das obras, o presente trabalho discorre acerca do estudo de blocos de concreto com a incorporação de argila expandida com dimensão de 5 mm (0500), em substituição parcial e total ao agregado graúdo natural, para avaliação das suas propriedades físicas e mecânicas. Todas as matérias primas foram caracterizadas, seguindo as recomendações normativas. Foram moldados blocos nas dimensões de 90 mm de largura, 190 mm de altura e 390 mm de comprimento, os quais foram avaliados a partir dos ensaios de absorção de água, massa específica e resistência à compressão, após 28 dias de cura ao ar.

1.1 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, o setor da construção civil, frente às novas tecnologias vem investindo na utilização de materiais alternativos, com o objetivo de aprimorar os processos. Dessa forma, com o intuito de produzir melhorias significativas, esta pesquisa surge da necessidade de reduzir

o elevado peso dos blocos de concretos disponíveis no mercado e os impactos ambientais gerados por esse setor, através da incorporação da argila expandida como agregado leve.

Pesquisas realizadas com a argila expandida como agregado leve em blocos de concreto ainda se apresentam em pequena escala. Alguns autores como Micheviz, Santos e Teixeira (2011) e Eustáquio, et al., (2016) mostraram que a utilização desse agregado pode ser viável, pelo fato de tal argila possuir uma estrutura interna porosa que possibilita a redução da densidade, reduzindo desta forma o peso próprio da alvenaria estrutural.

Diante do exposto, a produção de blocos de concreto com argila expandida é uma alternativa inovadora e de grande valia, que busca trazer melhorias no âmbito da construção civil desde a sua produção, com a redução do uso da matéria prima natural, até sua utilização, com a facilidade no transporte, manuseio e redução das cargas atuantes nas fundações, atendendo todos os requisitos e diretrizes das normas técnicas brasileiras, possibilitando maior produtividade e relação custo-benefício para as obras.

1.2 OBJETIVOS

Nos tópicos a seguir, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Estudar como a incorporação de proporções 25%, 50%, 75% e 100% de argila expandida em substituição parcial e total do agregado graúdo pode influenciar nas propriedades físicas e mecânicas do bloco de concreto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Explorar as referências bibliográficas sobre blocos de concreto com agregado leve de argila expandida;
- Conhecer as características das matérias primas (cimento, areia, pedrisco e argila expandida) de acordo com as normas vigentes;
- Obter formulações, com variações de argila expandida, em substituição ao agregado graúdo natural;
- Produzir componentes de alvenaria que possibilitem a elevação de paredes, aliando maior rapidez e produtividade ao sistema construtivo;

- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas, a partir da produção dos blocos de concreto leve que garantam desempenho adequado.
- Comparar os resultados obtidos aos de outras pesquisas experimentais, contemplados na fundamentação teórica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será apresentada a fundamentação teórica que dará embasamento a esta pesquisa. Inicialmente, cabe destacar os principais pontos sobre a alvenaria estrutural em blocos de concreto, seu contexto histórico, composição, produção e suas propriedades. Será abordado também o bloco de concreto com a utilização de agregados leves.

2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO DE CONCRETO

A alvenaria é um conjunto de elementos sobrepostos, formando um componente vertical que é colado na sua interface através do uso de argamassa apropriada. O seu uso torna-se útil para a vedação de espaços, contribui no conforto térmico e acústico dos ambientes, além de resistir a cargas oriundas da gravidade, podendo ter função estrutural ou não (NESSE; TAUILL, 2010).

Por ser um dos sistemas construtivos mais utilizados, a alvenaria estrutural tornou-se uma alternativa quanto ao emprego do concreto armado na construção de edificações, eliminando, dessa forma, o uso das estruturas convencionais de vigas e pilares e fazendo com que as paredes, de forma simultânea, realizem a divisão dos compartimentos e possuam a função estrutural, transmitindo para as fundações as magnitudes dos carregamentos recebidos das coberturas e lajes (LAVANDOSCKI, 2016).

O fator econômico também é de suma importância quando se compara o sistema de alvenaria estrutural com um sistema de alvenaria convencional, destacando-se o menor desperdício de materiais, redução de mão de obra para execução dos serviços, otimização no tempo de execução, redução das formas, limpeza do canteiro de obras e maior controle das etapas de construção (MICHEVIZ; SANTOS; TEIXEIRA, 2011).

2.1.1 Contexto histórico

No período da Idade da Pedra as principais construções eram compostas por blocos de pedra ou blocos cerâmicos intertravados, colados ou não, nas suas interfaces. A história da humanidade foi marcada pelos aspectos estruturais e arquitetônicos de algumas obras, destacando-se as Pirâmides do Egito, o Farol de Alexandria, o Coliseu Romano, a Catedral de Notre Dame, dentre outras (SÁNCHEZ, 2013).

As estruturas de alvenaria foram dimensionadas até metade do século XX de forma empírica, em que a concepção estrutural era totalmente intuitiva e com base no conhecimento passado de

geração a geração. Diante desse contexto, dentre muitas estruturas que foram construídas de forma superdimensionada, pode-se destacar o Edifício Monadnock em Chicago, composto por 16 pavimentos com 65 metros de altura e com as paredes da base de 180 cm. Já no final do século XX, as pesquisas começaram a se difundir cientificamente, substituindo esses métodos pelos cálculos racionais (PARIZOTTO FILHO; ROMAN, 2017).

Em 1950, a alvenaria estrutural se expandiu por todo o mundo, devido ao surgimento do código de obras e normas com procedimentos de cálculo na Europa e na América do Norte. Em 1951, a Suíça dá início à “Moderna Alvenaria Estrutural”, por meio da construção de um edifício de 13 andares, com paredes de 37 cm de espessura em alvenaria estrutural não-armada, comprovando os benefícios desse método construtivo. Com isso, as pesquisas e os avanços tecnológicos começaram a se intensificar, tanto em busca de novos materiais quanto na melhoria das técnicas de execução (PARIZOTTO FILHO; ROMAN, 2017).

Nesse contexto, a alvenaria estrutural constituiu-se num econômico e competitivo sistema racionalizado, versátil e de fácil industrialização. Países como Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha e muitos outros atingiram níveis de cálculo, execução e controle do processo, os quais são aplicados de forma similar ao sistema estrutural de aço e concreto utilizado atualmente (CAVALHEIRO, 2018).

A alvenaria estrutural teve início no Brasil em meados da década de 60, especificamente no estado de São Paulo, com a construção de alguns edifícios compostos por quatro pavimentos. Esse sistema construtivo teve maior disseminação com o surgimento das fábricas de blocos sílico-calcários e cerâmicos e com a construção de conjuntos habitacionais na década de 80 (PARIZOTTO FILHO; ROMAN, 2017).

Nessa mesma época, foi construído em São Paulo o condomínio Central Park Lapa, composto por quatro edifícios de 12 pavimentos cada e considerado uma das primeiras construções em alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto, embasada na tecnologia e nos procedimentos das normas americanas. Devido às necessidades de aumentar a aplicação da alvenaria estrutural nos setores habitacionais, comerciais e industriais, o Brasil começou a desenvolver novos centros de pesquisas para normatizar o processo construtivo (HASHIGUTI, 2018).

Diante disso, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e a Universidade de São Paulo (USP) realizaram parcerias, gerando a criação de materiais e equipamentos para o aperfeiçoamento do sistema de alvenaria. Atualmente, os blocos são encontrados em todo o território brasileiro, nos mais diferentes segmentos da construção civil (HASHIGUTI, 2018). As normas que regem a fabricação dos blocos de concreto no Brasil são a ABNT NBR 6136:2016 (Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos) e a ABNT NBR 12118:2014 (Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio).

2.1.2 Composição dos blocos de concreto

Os blocos de concreto podem ser definidos como componentes para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazados nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou menor que 75% da área bruta. São constituídos basicamente por: cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, aditivos e água (ABNT NBR 6136:2016).

- Cimento Portland (CP): Os cimentos do tipo II (composto), os cimentos com alta resistência inicial (CP V-ARI) e com resistência a sulfatos (CP V-ARI RS) são os mais empregados na produção de componentes pré-moldados de concreto, inclusive na fabricação de blocos (ALVES; LISBOA; MELO, 2017). A utilização desses tipos de cimentos ocorre em virtude da necessidade de apresentar maior resistência nas primeiras idades, para manuseio no dia seguinte (FERNANDES, 2019).

Por ser um ligante hidráulico utilizado na fabricação de blocos, os cimentos tipo II segundo ABNT NBR 16697:2018 são classificados de três formas: CP II-Z - Cimento Portland composto com material pozolânico, CP II-E - Cimento Portland composto com escória granulada de alto forno e CP II-F - Cimento Portland composto com material carbonático. Já os cimentos de alta resistência inicial são nominados pela sigla CP V-ARI e CP V-ARI RS pois apresentam, no primeiro dia, resistência igual ou superior a 14 MPa e maior durabilidade de resistência a sulfatos, quando submetidos a ataques em ambientes agressivos.

Para Fernandes (2019) todos estes tipos de cimento servem para a fabricação dos blocos, ressaltando que eles têm desempenhos diferentes. Essa variação de desempenho ocorre por conta da composição e marca. Segundo o autor, para utilização desse aglomerante

hidráulico com suas propriedades garantidas, é necessário estar em um bom estado de conservação, principalmente livre de umidade.

- Agregados: A análise das propriedades dos agregados é de suma importância para a produção dos blocos de concreto, visto que elas interferem na aderência com a pasta do cimento, modificando a homogeneidade e a resistência dos blocos (SALVADOR FILHO 2007). Sua forma e dimensão irão beneficiar nesse processo, garantido um bom arranjo granulométrico que, por sua vez, reduzirá a quantidade de vazios, trazendo melhorias para as propriedades físicas e mecânicas (MICHEVIZ; SANTOS; TEIXEIRA, 2011).

Para Fernandes (2019) devem ser observadas algumas características que são importantes na produção dos blocos, tais como: o tipo de rocha, que pode influenciar na durabilidade do molde; o tamanho dos grãos, que influi no enchimento e acabamento desses artefatos; o formato dos grãos, a dureza, a limpeza e a rugosidade, que influem na aderência da pasta de cimento e agregado, bem como no aumento da resistência à compressão.

Segundo Bauer (2008) a distribuição granulométrica é outra característica fundamental que interfere de forma direta na trabalhabilidade, segregação e moldagem do bloco. Encontrar a granulometria ótima, fará com que seja obtido a melhor compactação entre os agregados, redução do índice de vazios e melhor resistência mecânica.

Um mau arranjo granulométrico ocasionará um aumento do consumo de cimento, menor compacidade entre os agregados, deixando mais espaços vazios, e influenciará diretamente na resistência mecânica do bloco de concreto. Não basta apenas misturar os componentes para produção desses artefatos, para cada material existe uma quantidade balanceada que proporcionará no melhor arranjo e conseqüentemente trará benefícios satisfatórios em termos de acabamento (FERNANDES, 2019).

- Aditivos: Andrade (2017) cita que o uso de aditivos em blocos de concreto facilita a compactação dos materiais, o fácil desmolde, o aumento na produtividade, na resistência bem como em sua vida útil. Autores como Holanda Júnior (2000), Salvador Filho (2007), Fernandes (2013), Muller (2015) e Lopes (2017) utilizaram e recomendam aditivos plastificantes na mistura do concreto para produção dos blocos.

- Água: A quantidade de água utilizada na mistura do concreto seco para produção do bloco é menor que a do concreto plástico (FELIPE, 2010).

Alves (2004) em seu estudo sobre blocos de concreto: práticas de dosagem e controle de qualidade, afirma que o teor de água pode variar de 6% a 8%. Já Felipe (2010) em sua pesquisa de contribuição para a otimização de traços de concreto utilizados na produção de blocos estruturais, relata que o teor de água para mistura do concreto seco estar entre 6% e 7%. Santos, et al., (2021) utilizou, para reaproveitamento de resíduo de corte de granito em blocos de concreto um teor de água de 9% em relação à massa total.

Fernandes (2019) diz que para os blocos apresentarem resultados satisfatórios nas suas propriedades físicas e mecânicas, é importante encontrar a umidade ótima da mistura. Esta umidade está relacionada a curva ascendente que quando adicionada água até certo ponto melhor é a compactação, adensamento e maior resistência e a curva descendente quanto maior a quantidade de água, menor a resistência da pasta de cimento, implicando diretamente nas propriedades do bloco. O autor ainda ressalta que o teor de umidade utilizado pode ser até 9%.

2.1.3 Produção dos blocos de concreto

O processo de produção dos blocos de concreto nas fábricas inicia-se pela etapa de transporte dos insumos da fornecedora para o local de armazenamento da empresa produtora. Esse armazenamento deve ser em local fechado e protegido da chuva, a fim de evitar variações de umidade nos agregados, fator importante na hora da dosagem (LOPES, 2017).

Para a fabricação dos blocos, é utilizada a dosagem de concreto com consistência seca. Sendo o maior desafio da formulação obter coesão e trabalhabilidade no estado fresco e qualidade adequada no estado endurecido, de forma econômica (MARCHIONI, 2012).

Fernandes (2016) afirma que as falhas que ocorrem no processo produtivo se dão com o uso de agregados cuja curva granulométrica é inadequada e com dosagens incorreta dos materiais. Esse fato, por consequência, acaba acarretando um aumento no consumo do aglomerante hidráulico, onerando no custo final do produto.

Após a produção do concreto seco, o material é conduzido à cuba de alimentação da máquina, que se encarrega de abastecer os moldes e começar o processo de confecção das unidades. Essa

produção pode ser realizada de forma manual ou mecanizada (vibro-prensa). No processo de fabricação, é necessário que os blocos, para uma moldagem ideal, sejam bem compactados, servindo como fator importante a retirada do ar da mistura, que influenciará diretamente em sua resistência (ANDRADE, 2017). Finalizada a compactação do material de constituição dos blocos, esses artefatos são recolhidos para prateleiras e transportados para o local da cura.

Alguns autores, tais como Muller (2015), Andrade (2017), Silva (2018) e Al-Awsh, et al. (2021), demonstraram por meio de suas pesquisas os procedimentos adotados para fabricação dos blocos de concreto.

Muller (2015) estudou a produção e desempenho de blocos de concreto e constatou que entre os traços desenvolvidos, o de 1:4,36:3,44:5,42 (cimento: areia: brita calcária 0: pó de pedra) obteve melhores resultados em termos de custo-benefício. Então, após o processo de moldagem manual dos blocos, estes seguiram para a etapa de cura ao ar por um período de 24 horas, em que foram usadas mangueiras para molhar todo o piso inicialmente, evitando que este absorvesse umidade dos blocos.

Andrade (2017) pesquisou sobre blocos de concreto com substituição parcial do agregado natural pelo resíduo de construção civil, utilizando traço de 1:2,26:3,4 (cimento: areia: agregado reciclado de resíduo de construção). A produção dos blocos foi de forma manual, com cura ao ar livre, sendo esse método o mais utilizado para produção desses elementos, consistindo na aspersão de água, para não perder a umidade. A cura ocorreu durante o período de cinco dias.

Silva (2018) realizou uma proposta de metodologia para blocos de concreto, utilizando traço de 1:4,2:2,8 (cimento: areia: pedrisco). O processo de moldagem dos blocos ocorreu em uma fábrica de pré-moldados, utilizando uma máquina vibro-prensa hidráulica, onde eram vibrados e prensados. Após a moldagem, os blocos foram numerados para identificação e dispostos no pátio da fábrica para o processo de cura por aspersão de água.

Al-Awsh, et al. (2021) realizaram uma avaliação experimental do desempenho térmico e mecânico de blocos de concreto, adotando um traço de 1:2,3:5,8:1,7 (cimento Portland comum: areia: rocha calcária triturada nas dimensões 9,53 mm e 4,76 mm). Para o preenchimento da fôrma do bloco, foram utilizadas três camadas do material. Com o auxílio de uma haste de aço realizou-se a compactação, e, posteriormente, o bloco seguiu para a etapa de secagem ao ar em laboratório por 24 horas ($23 \pm 3^\circ\text{C}$). Em seguida, passou por processo de cura em água e foi

submetido aos ensaios de resistência à compressão, absorção de água, densidade e condutividade térmica.

2.1.4 Propriedades dos blocos de concreto

Nos tópicos a seguir, serão abordadas as propriedades de absorção de água, massa específica e resistência à compressão dos blocos de concreto.

2.1.4.1 Absorção de água

A absorção de água é a quantidade de água absorvida pela unidade de bloco seco em estufa quando colocada em imersão por 24 horas. Essa absorção e a transmissão de água através de meios porosos são aspectos importantes do material de alvenaria que afetam a funcionalidade, durabilidade e a resistência da estrutura (BHOSALE, et al., 2020).

São especificados na Tabela 1 os requisitos de absorção de água levando em consideração as classes e funções de cada tipo de bloco. A ABNT NBR 6136:2016 classifica os blocos em três classes A, B e C, com relação ao uso. Sendo que a classe A utiliza bloco com função estrutural aplicado abaixo do nível do solo. Já as classes B e C podem ser utilizadas acima do nível do solo, porém cabe ressaltar que a classe C pode ter ou não função estrutural.

Tabela 1 - Requisitos para absorção de água

Classificação	Classe	Absorção de Água (%)			
		Agregado Normal ^b		Agregado Leve ^c	
		Individual	Média	Individual	Média
Com função estrutural	A	≤9,0	≤8,0		
	B	≤10	≤9,0		
Com ou sem função estrutural	C			≤16,0	≤13,0
		≤11,0	≤10,0		

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6136:2016

Legenda:

b: Agregado normal: material com densidade entre 2000 kg/m³ a 3000 kg/m³ (ABNT NBR 9935:2011).

c: Agregado leve: material com baixa densidade <1200 kg/m³ (ABNT NBR 9935:2011).

Febin, et al. (2019) analisaram as propriedades de resistência e durabilidade de blocos de concreto incorporando pó de pedra em substituição ao agregado miúdo natural, no qual adotou um traço de 1:3,60:2,33:0,56 (cimento: areia natural: brita calcária 0: água). De acordo com os resultados, pôde-se constatar que a taxa de 30% de substituição apresentou uma menor absorção de água - 15%, comparado com a mistura sem pó de pedra (referência). Essa baixa absorção de

água pode ser atribuída à porosidade reduzida, devido a granulometria mais fina desse material alternativo.

Felipe (2010) realizou um estudo para otimização de traços de concreto utilizados na produção de blocos estruturais. Entre os traços estudados, concluiu que o de 1:2,12:1,07:5,84:3,95:0,13 (cimento: areia fina: areia grossa: pedrisco: pó de pedra: cal) apresentou uma absorção média de 6,23%, estando dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 6136:2016, para blocos de concreto com função estrutural de classe A. Para o autor, este baixo valor de absorção, está relacionado aos materiais utilizados para produção que são poucos porosos e mesmo incorporando cal hidratada não houve mudança significativa na propriedade de absorção de água.

Fortes, et al., (2018) realizaram estudo sobre paredes de alvenaria de concreto de alta resistência sob cargas concêntricas e excêntricas, utilizando blocos de concreto produzidos com cimento, areia, brita calcária e aditivos. Concluíram que os blocos de concreto apresentaram em relação à propriedade de absorção de água, valor médio de 4,11%, obedecendo aos requisitos da ABNT NBR 6136:2016. O fato do resultado de absorção está dentro do esperado, para o autor, ocorre devido à brita calcária ter uma estrutura interna não muito porosa quando comparada com os agregados leves.

2.1.4.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma das propriedades fundamentais para os blocos estruturais (LOPES, 2017). Todavia, existem diferenças entre os padrões de projeto na determinação dessa propriedade, especialmente nas disposições sobre a seleção dos tipos de blocos. Essa questão se deve em parte à falta de estudos combinados sobre diferentes parâmetros que afetam o comportamento à compressão de alvenaria de blocos de concreto (ASAD; THAMBOO; ZAHRA, 2021).

São apresentados na Tabela 2 os valores de resistência à compressão correspondentes a cada uma das classes, especificados na ABNT NBR 6136:2016.

Tabela 2 - Requisitos para resistência à compressão axial

Classificação	Classe	Resistência Característica à Compressão Axial ^a (MPa)
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$
	B	$4,0 \leq f_{bk} \leq 8,0$
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6136:2016

Legenda:

a: Resistência Característica à Compressão Axial obtida aos 28 dias.

fbk: Resistência Característica à Compressão

Neves (2015) estudou a elaboração de traços para a produção de blocos de concreto estrutural. Entre os traços o de 1:3,03:9,10:3,03 (cimento: areia fina: areia grossa: brita calcária 0) apresentou resistência à compressão média de 9,31 MPa aos 28 dias, podendo ser utilizado como bloco com função estrutural abaixo do nível do solo, classe A. Segundo o autor, este valor de resistência encontrado, considerado bastante alto, pode ser relacionado ao teor de umidade utilizado na mistura e também a adição de aditivos.

Silva (2018) realizou um estudo de dosagem para blocos de concreto. Entre os traços estudados, adotou como ideal o de 1:4,2:2,8 (cimento: areia natural: pedrisco). Com relação ao ensaio de resistência à compressão, pode-se concluir que os blocos obtiveram resistência de 5,03 MPa suficiente para atender os requisitos da ABNT NBR 6136:2016 para blocos da classe B, os quais são utilizados com função estrutural.

Febin, et al., (2019) analisaram a propriedade de resistência à compressão de blocos de concreto, incorporando pó de pedra em seu traço de referência 1:3,60:2,33:0,01:0,56 (cimento: areia natural: brita calcária 0: super plastificante: água) e conseguiram alcançar um valor médio de 10 MPa com 30% de substituição pela areia natural. Ao substituir 60%, a resistência atingida foi de 25 MPa. O autor afirma que, o aumento observado nessa propriedade pode ser atribuído ao preenchimento das lacunas deixadas pela areia pelo pó da pedra, resultando em uma amostra mais densa e com melhor aderência.

Felipe (2010) realizou o ensaio de resistência à compressão, no seu estudo de otimização de traços de concreto utilizados na produção de blocos estruturais, com traço composto por (cimento: areia fina: areia grossa: pedrisco: pó de pedra: cal). Concluiu que, a resistência foi igual a 10,65 MPa, podendo ser classificado segundo a ABNT NBR 6136:2016 como bloco de concreto estrutural de classe A, cuja resistência é maior que 8 MPa. Esse resultado está

associado à presença da cal hidratada, que tem propriedade aglomerante, facilitando a compactação e o desmolde dos blocos.

2.2 AGREGADO LEVE

O agregado leve vem sendo bastante utilizado nos últimos anos para fins estruturais em diversos setores da construção civil. As principais vantagens quanto ao seu uso, são o isolamento térmico e acústico, a redução da massa específica tornando o concreto e os blocos mais leves e consequentemente reduzindo seus esforços estruturais e a redução razoável dos custos de transporte, facilitando seu manuseio (ISMAEL; MOHAMMED, 2021).

Segundo a ABNT NBR NM 35:1995 - Agregados leves para concreto estrutural - especificação, os agregados leves são materiais que apresentam sua massa específica aparente $\leq 1120 \text{ kg/m}^3$. A classificação dos agregados leves ocorre de duas formas: naturais - processo de extração direta em jazidas - ou artificiais - produzidos por meio de processos industriais, como exemplo a argila expandida (ROSSIGNOLO, 2009).

A argila expandida é um agregado leve artificial com uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com microporos e com uma casca rígida e resistente. Suas principais características são leveza, baixa densidade, isolamento térmico e acústico (CINEXPAN, 2021). A argila expandida tem maior resistência à compressão do que muitos agregados leves, tais como vermiculita, pedra-pomes, escórias de altos fornos, diatomita, cinzas volantes, ardósia e escórias vulcânicas (MANOJ; RAO; SRAVYA, 2021).

No Brasil, a única empresa que fabrica este material é a Cinexpan. O processo de produção das argilas tem início quando elas são colocadas no forno rotativo, a uma temperatura de aproximadamente 1250°C , com o uso de aditivos piroexpansivos. Finalizada a calcinação, o agregado leve passa por um processo de resfriamento controlado em que ocorre a vitrificação da superfície, garantido assim sua resistência (CINEXPAN, 2021).

Segundo a Cinexpan (2021) a empresa produz cinco tipos de argilas, com diferentes diâmetros e utilizações, conforme apresentadas na Figura 1 e na Tabela 3, a seguir:



Figura 1 - Granulometria das argilas expandidas (Cinexpan, 2021).

Tabela 3 - Tipos, diâmetros, densidade e utilização das argilas expandidas

Argilas expandida	Diâmetro	Densidade (Kg/m ³)	Utilização
3222	22 mm – 32mm	450	Paisagismo
2215	15 mm – 22 mm	500	
1506	6 mm – 15 mm	600	Concreto leve
0500	0 – 5 mm	850	
Laminado 2,5 mm	0 – 2,5 mm	750	Fabricação churrasqueiras, lareiras e refratários

Fonte: Cinexpan (2021)

2.2.1 Estrutura interna e porosidade das argilas

As partículas de argila expandida são porosas devido à estrutura interna dos poros celulares que se desenvolvem durante o processo de queima. Alguns poros estão totalmente fechados dentro de uma determinada partícula, enquanto outros poros estão expostos à sua superfície externa. A superfície da partícula de argila expandida é mais forte (ou seja, mais dura) do que o seu interior da partícula devido ao processo de sinterização, transformando-a em um material do tipo cerâmico (GAO, et al., 2021).

A estrutura interna da argila expandida influencia diretamente na resistência mecânica e no módulo de deformação. Este tipo de agregado apresenta baixa massa específica, consequentemente, quando inserido no concreto leve estrutural reduzirá a massa específica do material. A redução da porosidade também influencia a resistência mecânica do agregado, por exemplo, a argila expandida apresenta uma camada externa pouco porosa, o que aumenta sua resistência mecânica (ANGELIN, 2014).

2.2.2 Propriedades dos blocos de concreto com agregados leves

Neste item, serão abordadas as propriedades de absorção de água, massa específica e resistência à compressão dos blocos de concreto com agregados leves.

2.2.2.1 Absorção de água e Massa específica

Em seguida, serão apresentados estudos com a incorporação da argila expandida, vermiculita e outros tipos de agregados leves em blocos de concreto, encontrados na literatura

a) Agregados leves: Argila expandida e Vermiculita

Micheviz, Santos e Teixeira (2011) estudaram a influência dos agregados leves de argila expandida (1506) e vermiculita em substituição aos agregados convencionais para produção de blocos de concreto leve. Utilizaram o traço de 1:2:2 (cimento:areia natural:brita calcária 0) e concluíram que ao substituir a vermiculita pela areia natural ocorreu um aumento considerável na propriedade de absorção de água. No traço em que houve a substituição total dos agregados naturais pelos agregados leves, o aumento foi em torno de 16%, sendo esse valor não aceitável pela ABNT NBR 6136:2016. Já a massa específica mostrou-se cerca de 33,6% menor que a obtida no bloco de referência, o que pode ser justificado pela estrutura porosa da argila expandida.

Eustáquio, et al. (2016) analisaram as propriedades de blocos de concreto leve visando o atendimento da norma de desempenho, com substituição parcial e total do agregado graúdo por argila expandida em teores 25%, 50%, 75% e 100%. Foi utilizado também a vermiculita fixada em teores de 3% em substituição parcial do agregado miúdo. Concluíram que a substituição total do agregado graúdo por argila expandida acarretou uma taxa de absorção de água acima de 10% e uma redução na massa específica de 12%, em relação ao traço de referência composto por cimento: areia: cascalho: pó de pedra, com 5,5% e 2350 Kg/m³, respectivamente. Para os autores, o que justifica o aumento da absorção e a redução da massa específica é justamente a estrutura interna da argila expandida que, por possuir muitos vazios, quanto maior a incorporação desse material, mais este influenciará nessas propriedades.

Kumar, et al. (2019) realizaram uma investigação experimental em blocos de concreto leve usando vermiculita expandida. Através do traço de 1:1,5:1,5 (cimento: areia natural: vermiculita expandida), encontrou uma massa específica aos 28 dias de 1943 Kg/m³,

classificado como bloco de concreto leve com uma densidade abaixo de 2000 Kg/m³. Para os autores, a redução da massa específica ocorreu pelo simples fato desse material leve possuir uma estrutura interna com vazios significativos.

b) Agregados leves: Poliuretano e Poliestireno

Folgueras, Siqueira e Stramari (2004) realizaram uma pesquisa sobre a adição de poliuretano expandido para a produção de blocos de concreto leve, utilizando traço de 1:2,75:2,2:0,55 (cimento: areia: pó de pedra: pedrisco). Esses autores concluíram que, com o aumento da substituição do agregado graúdo pelo poliuretano expandido, maior foi a absorção de água (21,06%) e menor a massa específica, com redução de peso do bloco em 37,75%, comparado com o traço de referência. Os autores desta pesquisa explicam que o poliuretano é um material muito poroso e com baixa densidade, quando comparado com os agregados convencionais, permitindo assim uma maior absorção e redução da massa.

Gonçalves e Vasconcelos (2019) avaliaram as propriedades térmicas, físicas e mecânicas de blocos de concreto com poliestireno expandido reciclado. Foram realizadas quatro formulações, sendo o traço ideal de 1:3,43:3,98:0,04 (cimento: areia natural: brita calcária 0:poliestireno expandido reciclado) que apresentou uma redução de 3,89% na massa específica e um aumento de até 8,69% na absorção de água com adição de 15% do poliestireno. Este aumento na absorção, segundo o autor, está relacionado ao aumento do número de vazios no bloco em que o poliestireno forma partículas de ar em seu interior.

Al-Awsh, et al., (2021) estudaram o desempenho de blocos de concretos isolados, com substituição parcial do agregado graúdo pelo poliestireno. Concluíram que o traço de 1:2,95:5,16:0,01 (cimento: areia natural: brita calcária 0:poliestireno) apresentou um aumento na absorção de água de 7,75% e uma redução na massa específica de 5,69%, comparados com traço sem a presença do poliestireno. Os autores afirmam que esses resultados estão relacionados à estrutura do material, que apresenta uma baixa densidade e forma lacunas de ar no bloco, o que leva a armazenar mais água, aumentando assim a absorção.

2.2.2.2 Resistência à compressão

Em seguida, serão apresentados estudos com a incorporação da argila expandida, vermiculita e outros tipos de agregados leves em blocos de concretos, encontrados na literatura.

a) Agregados leves: Argila expandida e Vermiculita

Micheviz, Santos e Teixeira (2011) concluíram que, mesmo substituindo 100% do agregado gráúdo pelo agregado leve de argila expandida, a resistência à compressão reduziu de 8,93 MPa para 6,02 MPa, atendendo dessa maneira às prescrições da ABNT NBR 6136:2016, que especificam o valor mínimo de 4 MPa para blocos estruturais de concreto. O intertravamento mecânico entre este tipo de agregado leve e a pasta de cimento dá-se de maneira satisfatória, devido justamente a sua superfície áspera, o que nesse caso favoreceu a uma mínima perda de resistência. Contudo, no traço onde ocorreu a total substituição dos agregados miúdos e gráúdos naturais pela vermiculita e a argila expandida (1506), respectivamente, a redução foi bem mais acentuada, resultando em uma resistência de 0,56 MPa. Neste caso, a alta porosidade dos agregados pode ter influenciado.

Eustáquio, et al., (2016) concluíram que o bloco com 100% de argila expandida, apresentou uma redução na resistência de aproximadamente 39,4% em relação ao bloco de referência. Os demais teores de argila expandida mantiveram uma resistência aproximada variando entre 3,52 MPa a 3,69 MPa. Já o uso da vermiculita influenciou diretamente na resistência à compressão do bloco nos primeiros 7 dias, com uma queda de 4,61% e um ganho de resistência aos 28 dias de 0,35%. Portanto, todas as amostras com argila expandida e a vermiculita expandida apresentaram uma resistência inferior ao agregado comum.

Kumar, et al., (2019) através da investigação experimental realizada em blocos de concreto com vermiculita expandida, encontraram, por meio do ensaio de resistência à compressão, um valor de 5,33 MPa aos 28 dias, classificando-os como um bloco de concreto com função estrutural de classe B, segundo a ABNT NBR 6136:2016, com resistência à compressão característica de 4 MPa a 8 MPa.

b) Agregados leves: Poliuretano e Poliestireno

Folgueras, Siqueira e Stramari (2004) constataram que a substituição de 5% do agregado gráúdo por poliuretano expandido é viável para a produção de blocos estruturais leves, atingindo uma resistência de 6,11 MPa aos 28 dias, estando em conformidade com os parâmetros da ABNT NBR 6136:2016. Os autores mencionam que o aumento das proporções desse material alternativo pode causar redução na resistência à compressão, devido ao fato do próprio agregado

leve possuir uma baixa resistência à compressão e à formação de poros. Outra causa que pode estar associada é a ligação da matriz cimentícia com a interface do poliuretano.

Gonçalves e Vasconcelos (2019) puderam concluir que a substituição da brita calcária 0 por 5% do poliestireno expandido reciclado resultou em uma resistência à compressão média de 5,59 MPa, pertencendo à classe B, com função estrutural especificada pela ANBT NBR 6136:2016. Os autores ainda ressaltam que a incorporação do teor de poliestireno expandido na mistura acima de 10% pode acarretar uma redução na resistência de aproximadamente 40%, devido ao baixo consumo de cimento e à granulometria do agregado leve.

Al-Awsh, et al., (2021) concluíram que os blocos de concreto com poliestireno apresentaram resistência à compressão de 4,59 MPa, sendo uma redução de 36,78% em relação ao bloco de referência. Esta diferença pode ser atribuída à ligação entre a pasta de cimento e as partículas, pois estas têm formato arredondado e superfície lisa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos experimentais utilizados nesta pesquisa, conforme especificado na Figura 2. Os ensaios foram realizados de acordo com o objetivo principal, que consiste no estudo sobre como a incorporação 25%, 50%, 75% e 100% de argila expandida em substituição parcial e total ao agregado gráúdo natural, pode influenciar nas propriedades físicas e mecânicas do bloco de concreto.

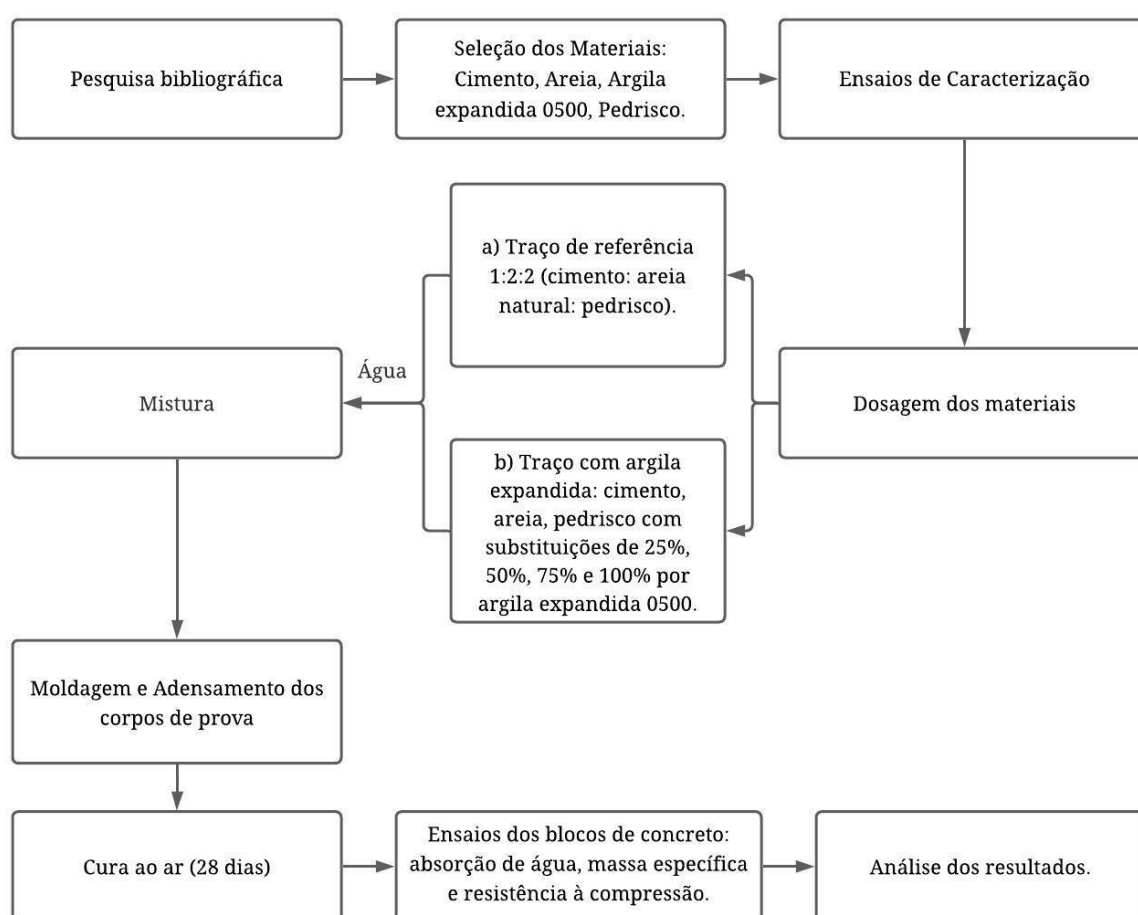


Figura 2 - Fluxograma do programa experimental da pesquisa (O autor, 2021)

3.1 MATERIAIS

Para a produção dos blocos de concreto foram utilizados cimento Portland, areia natural, pedrisco, argila expandida do tipo 0500 e água.

Os materiais foram caracterizados segundo as normas técnicas, conforme listados nos tópicos a seguir. Todos os ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Sergipe, campus Estância.

3.1.1 Cimento Portland

O aglomerante hidráulico utilizado foi o Cimento Portland Composto com material Carbonático (CP II – F 32). Este material é utilizado em todas as obras desde a fundação ao acabamento, por possuir alta resistência e secagem rápida. Vale ressaltar que este tipo de cimento é o mais comercializado na região.

A caracterização desse material foi realizada em observância às normas vigentes.

- Determinação do Índice de Finura

A ABNT NBR 11579:2013 foi utilizada para a realização do ensaio de determinação do índice de finura, através de procedimento manual, em que consiste no peneiramento a seco do cimento com a utilização da peneira de 75 μm (nº 200). O resultado foi expresso em porcentagem, através da relação entre a massa de cimento com dimensões de grãos superiores a 75 μm e a massa total.

- Determinação da Pasta Consistência Normal

A prescrição para o ensaio de pasta de consistência normal encontra-se na ABNT NBR 16606:2018, em que são realizadas tentativas através da penetração da sonda de Tetmajer na pasta, em busca de encontrar o percentual de água ideal em relação a massa de cimento, permitindo assim uma melhor consistência da pasta. Ressalta-se que para se obter o resultado da pasta, é necessário que a sonda estacione a (6 ± 1) mm da placa-base do molde troncocônico.

- Determinação dos Tempos de Pega

Conforme a ABNT NBR 16607:2018 foi realizado o ensaio para a determinação dos tempos de pega da pasta de cimento Portland. À preparação da pasta para a execução do ensaio, seguiram-

se os procedimentos da ABNT NBR 16606:2018. Finalizada a preparação da pasta, preencheu-se o molde e, junto com a placa-base, posicionou-se aparelho de Vicat, situado sob a agulha. Em seguida anotou-se o tempo de início e fim de pega.

- Determinação da Massa Específica Real

A determinação da massa específica real foi obtida através da prescrição da ABNT NBR 16605:2017, que consiste na utilização do frasco volumétrico de Le Chatelier.

- Determinação da Expansibilidade de Le Chatelier

Para a realização do ensaio da determinação de expansibilidade do cimento, seguiu-se o procedimento estabelecido na ABNT NBR 11582:2016, através do uso de um paquímetro para medição e a agulha de Le Chatelier. O objetivo desse ensaio é a verificação da expansibilidade a quente da pasta de cimento, pasta essa determinada no ensaio de consistência normal, realizado por meio das recomendações de procedimentos da ABNT NBR 16606:2018.

- Determinação da Resistência à Compressão

A realização do ensaio para determinação da resistência à compressão de corpos de provas cilíndricos, ocorreu em observância a ABNT NBR 7215:2019. A argamassa foi preparada com uma parte de cimento, três de areia normalizada e fator água/cimento de 0,48, para a moldagem de seis amostras com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura.

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nesta pesquisa foi a areia natural, proveniente da cidade de Estância/SE, passante na peneira 1,18 mm para retirada de pedras e impurezas, que posteriormente foi para estufa por 24 horas a uma temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, em seguida esse material foi armazenado em baldes plásticos com tampa, para proteção contra agentes externos. O material foi submetido a ensaios de caracterização das suas propriedades:

- Determinação da Composição Granulométrica

A realização do ensaio para determinação da composição granulométrica, ocorreu conforme os procedimentos da ABNT NBR NM 248:2003, em que foram pesadas duas amostras de 500 g para cada tipo de agregado miúdo, adicionados no jogo de peneiras com malhas de 4,75 mm a

150µm, mais fundo. O jogo de peneiras junto com material adicionado foi levado para o agitador mecânico por 5 minutos e em seguida foi realizada a pesagem do material retido em cada peneira, inclusive o material do fundo.

- **Determinação da Massa Unitária**

O ensaio para determinação da massa unitária da areia ocorreu conforme a ABNT NBR 16972:2021 pelo método A (massa unitária no estado compactado) e método C (massa unitária no estado solto). O objetivo desse ensaio é a relação entre a massa do agregado depositado no recipiente e o volume do recipiente, não desprezando os vazios.

- **Determinação da Densidade**

O ensaio para determinação da densidade do agregado miúdo (areia) ocorreu conforme a ABNT NBR 16916:2021. O objetivo desse ensaio é a relação entre a massa do agregado na condição seca e o volume dos seus grãos, incluindo os poros permeáveis e impermeáveis e excluindo os vazios entre os grãos.

3.1.3 Agregado graúdo

Os agregados graúdos utilizados foram o pedrisco, passante na peneira 4,75 mm proveniente da Usina de asfalto da Emurb, situada na cidade de São Cristóvão/SE, e a argila expandida 0500 com dimensões de 0 a 5 mm passante na peneira 4,75 mm, doada pela Empresa Cinexpan, localizada na cidade de Várzea Paulista/SP. Os mesmos foram submetidos a ensaios de caracterização das suas propriedades:

- **Determinação da Composição Granulométrica**

A realização do ensaio para determinação da composição granulométrica ocorreu conforme os procedimentos da ABNT NBR NM 248:2003, em que foram pesadas duas amostras de 1000g para cada tipo de agregado graúdo, adicionadas no jogo de peneiras com malhas de 75 mm a 150µm, mais o fundo. O jogo de peneiras com o material adicionado foi levado para o agitador mecânico por 5 minutos e em seguida foi realizada a pesagem do material retido em cada peneira, inclusive o material do fundo.

- Determinação da Massa Unitária

O ensaio para determinação da massa unitária do pedrisco e da argila expandida ocorreu conforme a ABNT NBR 16972:2021 pelo método A (massa unitária no estado compactado) e método C (massa unitária no estado solto). O objetivo desse ensaio é a relação entre a massa do agregado depositado no recipiente e o volume do recipiente, não desprezando os vazios.

O resultado da massa unitária, foi obtido através da seguinte Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Onde:

ρ_{ap} – é a massa unitária (kg/m³)

m_{ar} – é a massa do recipiente com agregado (kg)

m_r – é a massa do recipiente vazio (kg)

V – é o volume do recipiente (m³)

- Determinação da Densidade

O ensaio para determinação da densidade foi realizado embasamento da ABNT NBR 16917:2021, em que a amostra foi lavada para remoção de todo material pulverulento ou qualquer outro que estivesse na superfície. Em seguida, os agregados foram submersos em água potável por 24 horas, seguindo-se para a etapa de determinação das massas nas condições seca (m_A), saturada (m_B) e submersa (m_C).

O resultado da densidade nas condições seca, foi obtido através da seguinte Equação 2.

$$\rho_s = \frac{m_A}{m_B - m_C} \quad (2)$$

3.1.4 Água

Para os ensaios e produção dos blocos de concreto, a água utilizada foi fornecida pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) da cidade de Estância/SE, a qual estar de acordo com a ABNT NBR 15900-1:2009.

3.2 MÉTODOS

Diante dos resultados experimentais obtidos por meio da revisão bibliográfica realizada neste trabalho, o traço e as porcentagens da argila foram estabelecidos e os ensaios selecionados para a determinação das propriedades dos blocos de concreto.

3.2.1 Procedimento de dosagem e moldagem dos corpos de prova

Foi adotado o traço referência de 1:2:2 (cimento: areia natural: pedrisco), o qual, de acordo com a pesquisa de Micheviz, Santos e Teixeira (2011), conseguiram alcançar valores de resistência à compressão superior ao especificado para blocos estruturais. A porcentagem de água utilizada nos blocos de concreto, mediante estudos de Alves (2004), Felipe (2010), Fernandes (2019) e Santos, et al., (2021), variou de 8,5% a 9%. Nesta pesquisa o percentual adotado foi uma variação entre 8,72% a 9% da massa total. Esta pesquisa foi composta por cinco tipos de formulações, uma sem incorporação da argila expandida, a referência e mais quatro, com variações de teores de substituição, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Formulações de um bloco de concreto em massa

Formulações	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Pedrisco (Kg)	AE 0500 (Kg)	Água (ml)
BL _{REF}	1,81	3,63	3,63	-	790
BL _{25%}	1,69	3,38	2,53	0,84	710
BL _{50%}	1,58	3,17	1,58	1,58	710
BL _{75%}	1,49	2,99	0,74	2,24	650
BL _{100%}	1,40	2,81	-	2,81	610

Fonte: O autor, 2021.

Legenda:

BL_{REF} – Bloco de referência

BL_{25%} – Bloco com 25% de argila expandida

BL_{50%} – Bloco com 50% de argila expandida

BL_{75%} - Bloco com 75% de argila expandida

BL_{100%} - Bloco com 100% de argila expandida

Os materiais foram misturados em uma bandeja e em seguida a água foi adicionada aos poucos. Os corpos de prova foram moldados manualmente. Para o preenchimento da fôrma do bloco, foram utilizadas três camadas do material. Com o auxílio de uma haste metálica realizou-se a compactação com 25 golpes. Para cada formulação foram moldados 7 (sete) exemplares com dimensões de 90 mm de espessura, 190 mm de altura e 390 mm de comprimento, conforme apresentado na Figura 3, totalizando 35 amostras, sendo quatro para o ensaio de determinação da resistência à compressão e três para o ensaio de absorção de água e massa específica.



Figura 3 (a) e (b) - Moldagem do bloco de concreto (O autor, 2022)

Os blocos de concreto foram desmoldados em cima de uma lona plástica disposta no pátio do Laboratório de Materiais de Construção, evitando dessa maneira a absorção da umidade dos exemplares pelo piso, conforme mostra a Figura 4, sendo todos identificados de acordo com as formulações.



Figura 4 - Desforma e cura ao ar (O autor, 2022)

Para a análise das propriedades no estado endurecido, as amostras permaneceram durante 28 dias de cura ao ar. Após essa etapa, os blocos foram avaliados por uma sequência de ensaios.

3.2.2 Ensaios dos blocos de concreto no estado endurecido

Neste item serão apresentados os ensaios dos blocos de concreto no estado endurecido, seguindo todas as diretrizes das normas concernentes às suas propriedades.

3.2.2.1 Absorção de água e Massa específica

A ABNT NBR 9778:2009 descreve todos os procedimentos necessários para a obtenção dos valores referentes à absorção de água e massa específica. Seguindo a norma, foram necessárias

para a realização dos ensaios a obtenção da massa seca em estufa (m_s) com temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, a massa saturada em água após a imersão e fervura (m_i) e a massa saturada imersa em água após fervura (m_{sat}). Vale salientar que houve uma adaptação para a determinação das massas, em que foi criado uma gaiola para pesagem dos blocos imersos e a fervura foi realizada com o auxílio de um tambor; como apresenta as Figuras 5 e 6.

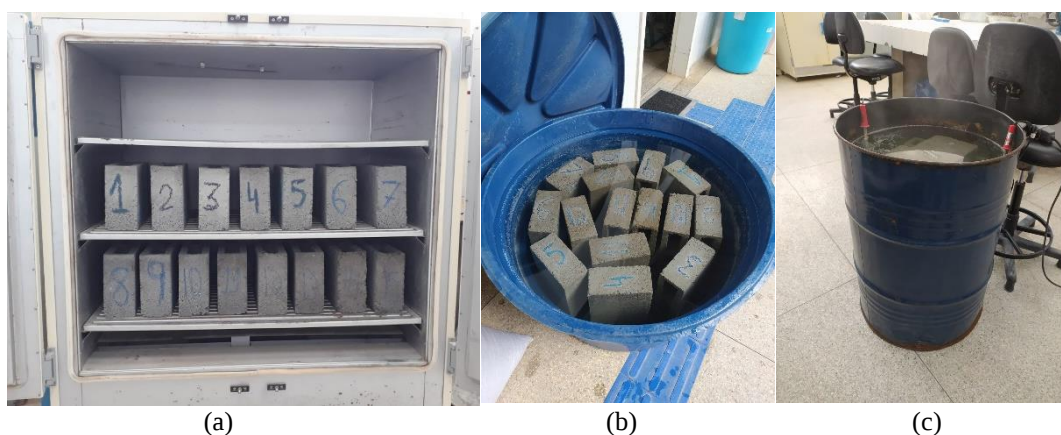


Figura 5 - Processo para o ensaio de massa específica e absorção de água: (a) Secagem em estufa; (b) Amostras imersas e (c) Fervura das amostras (O autor, 2022).



Figura 6 - Determinação da massa imersa: (a) Adaptação da aparelhagem e (b) Amostra imersa (O autor, 2022).

Após a coleta dos dados, a absorção de água (A) e massa específica (ρ_s) foram calculadas de acordo com a Equações 3 e 4.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (4)$$

3.2.2.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão foi avaliada nos blocos de concreto com dimensões de 90 mm de largura, 190 mm de altura e 390 mm de comprimento, seguindo as prescrições da ABNT NBR 12118:2014. Foram produzidas quatro amostras para cada uma das cinco formulações, totalizando 20 unidades de blocos. Para que não houvesse comprometimento nos resultados e por prescrição normativa os blocos passaram por um processo de capeamento com uma pasta cimentícia, nas faces com espessura de 3 mm, conforme mostra a Figura 7.

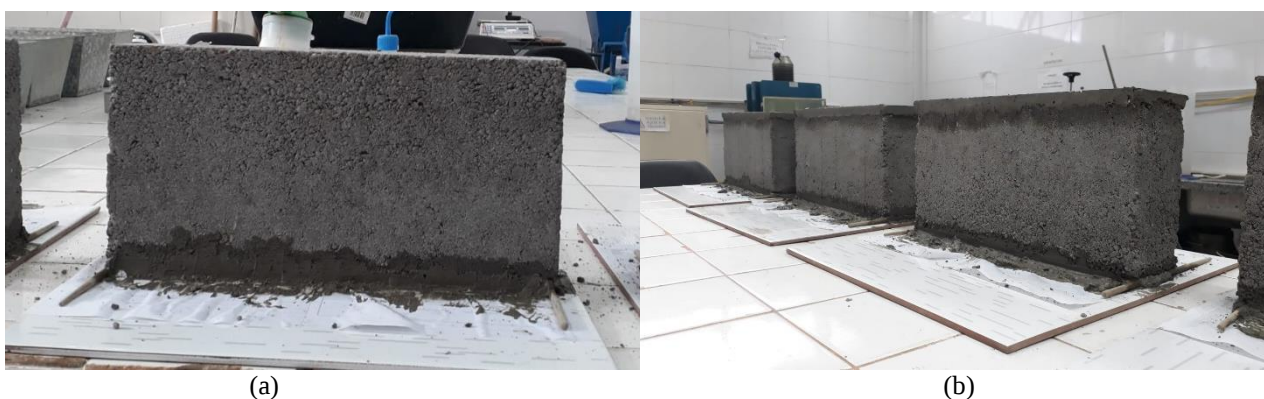


Figura 7 - Capeamento dos blocos de concreto: a) face inferior e (b) face superior (O autor, 2022).

O processo de ruptura dos corpos de provas ocorreu após a cura na idade de 28 dias, em que o ensaio foi realizado através do uso de uma prensa Pavitest da marca Contenco, modelo HD-200T com capacidade de 200 kN, ver Figura 8.



Figura 8 - Prensa Pavitest com bloco posicionado (O autor, 2022).

As Figuras 9 e 10 apresentam os blocos de concreto após o processo de rompimento para cada tipo de formulação.



Figura 9 - Rompimento dos blocos: (a) Bloco referência; b) 25% de argila expandida e c) 50% de argila expandida (O autor, 2022)

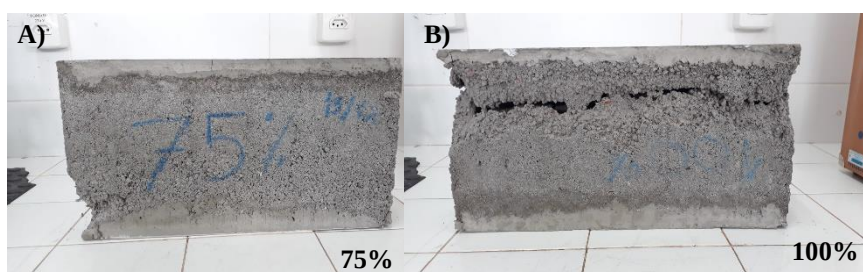


Figura 10 - Rompimento dos blocos: (a) 75% de argila expandida e b) 100% de argila expandida (O autor, 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados de caracterização dos materiais para a produção dos blocos de concreto com incorporação de argila expandida, assim como os resultados dos blocos de concreto no estado endurecido, por meio do ensaio de massa específica, absorção de água e resistência à compressão.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais adotados nesta pesquisa para produção dos blocos de concreto.

4.1.1 Cimento Portland

Os resultados dos ensaios de caracterização do Cimento Portland com material carbonático (CP II – F 32), atendeu aos requisitos mínimos exigidos pela ABNT NBR 16697:2018, desse modo os valores dos ensaios estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP II-F 32

Propriedades	Unidade	Resultados	Requisitos normativos
Índice de Finura	%	1,50	$\leq 12,00$
Consistência normal	%	28,30	-
Início de pega	min	125,00	$\geq 60,00$
Fim de pega	min	255,00	-
Expansibilidade à quente	mm	1,89	$\leq 5,00$
Massa específica	g/cm ³	3,06	-
Resistência à compressão	-----	----	----
7 dias	MPa	21,72	$\geq 20,00$
28 dias	MPa	32,80	$\geq 32,00$

Fonte: O autor, 2022.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5, pontua-se a importância do ensaio de índice de finura, uma vez que são determinadas as impurezas presentes no cimento, estando esta propriedade física ligada diretamente ao desempenho dos concretos e argamassas. Isto é, quanto mais fino for o cimento, maior será a resistência e a trabalhabilidade, melhorando dessa maneira a coesão dos materiais.

Já em relação ao ensaio de tempo de pega, foi percebido um resultado maior que o mínimo estabelecido por norma, demonstrando que não houve comprometimento na reação de endurecimento para esse tipo de cimento.

Notou-se que o ensaio de Expansibilidade Le Chatelier é considerado bastante importante para análise do cimento, pois ele calcula a expansibilidade à quente e à frio da pasta de cimento de consistência normal, tendo sido realizado nesta pesquisa o requerido por norma (expansibilidade à quente). Este ensaio mostra como resultado, a verificação das tensões internas presente no aglomerante hidráulico, as quais podem influenciar de forma negativa gerando desagregação do material e instigando o processo de microfissuração. Logo, o cimento utilizado nesta pesquisa atendeu aos critérios normativos.

É notável, na Tabela 5, que os valores de resistência à compressão sofreram um aumento do 7º ao 28º dia, de modo que, quando em contato com a água, o cimento sofreu processo de hidratação, reagindo de forma a permitir esse ganho de resistência, atendendo assim aos requisitos prescritos em norma.

4.1.2 Propriedades físicas dos materiais

Este item aborda os resultados dos ensaios de análise granulométrica, massa unitária nos estados solto e compactado e massa específica dos materiais.

4.1.2.1 Análise Granulométrica

Nesses subitens serão abordados a análise granulométrica a areia, pedrisco e argila expandida 0500.

a) Agregado miúdo natural – Areia

São apresentados na Tabela 6 os resultados do ensaio de análise granulométrica do agregado miúdo natural (areia) e na Figura 11 a sua curva granulométrica.

Tabela 6 - Análise granulométrica do agregado miúdo natural

Análise granulométrica NBR NM 248:2003	
Abertura das peneiras (mm)	Massa passante (%)
4,75	100
2,36	100
1,18	99,95
0,600	83,92
0,300	37,38
0,150	5,74
Fundo	0
Diâmetro máximo (mm)	1,18
Módulo de finura	1,73

Fonte: O autor, 2022.

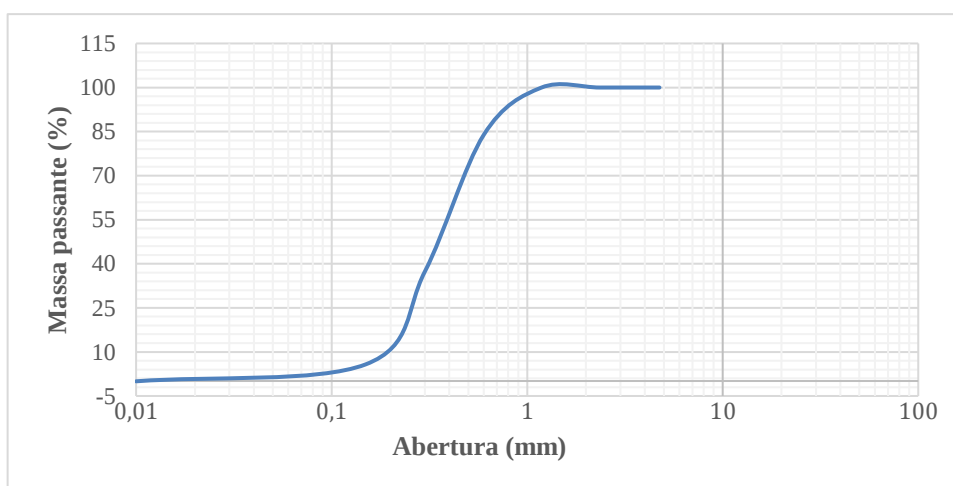


Figura 11 - Curva granulométrica do agregado miúdo natural (O autor, 2022).

Diante dos dados apresentados na Tabela 6 e da Figura 11, foi identificado o valor de módulo de finura igual à 1,73, de acordo com a ABNT NBR 7211:2009 o agregado miúdo enquadra-se na zona utilizável inferior. Esta zona pela norma apresenta variação de módulo de finura entre 1,55 à 2,20.

Segundo a ABNT NBR 7215:2019, considera-se os limites de frações dos tamanhos dos grãos do agregado miúdo (areia) como: areia fina (0,3 mm a 0,15 mm), areia média fina (0,6 mm a 0,3 mm), areia média grossa (1,2 mm a 0,6 mm) e areia grossa (2,4 mm a 1,2 mm). Em observância a Tabela 9 da distribuição granulométrica, da referida norma, a maior fração

encontra-se entre as peneiras 0,3 mm e 0,15 mm do percentual retido acumulado, classificando-o como areia fina.

b) Agregados graúdos – Pedrisco e Argila expandida

São apresentados na Tabela 7 a análise granulométrica dos agregados graúdos (pedrisco e argila expandida 0500) e na Figura 12 as suas curvas granulométricas

Tabela 7 - Análise granulométrica dos agregados graúdos

Análise granulométrica NBR NM 248:2003		
Abertura das peneiras (mm)	Massa passante (%)	
	Pedrisco	Argila expandida 0500
6,3	99,47	99,97
4,75	93,47	95,64
2,36	4,57	3,71
1,18	0,55	0,76
0,600	0,52	0,61
0,300	0,48	0,49
0,150	0,35	0,18
Fundo	0	0
Diâmetro máximo (mm)	6,3	4,75
Módulo de finura	5,00	4,99

Fonte: O autor, 2022.

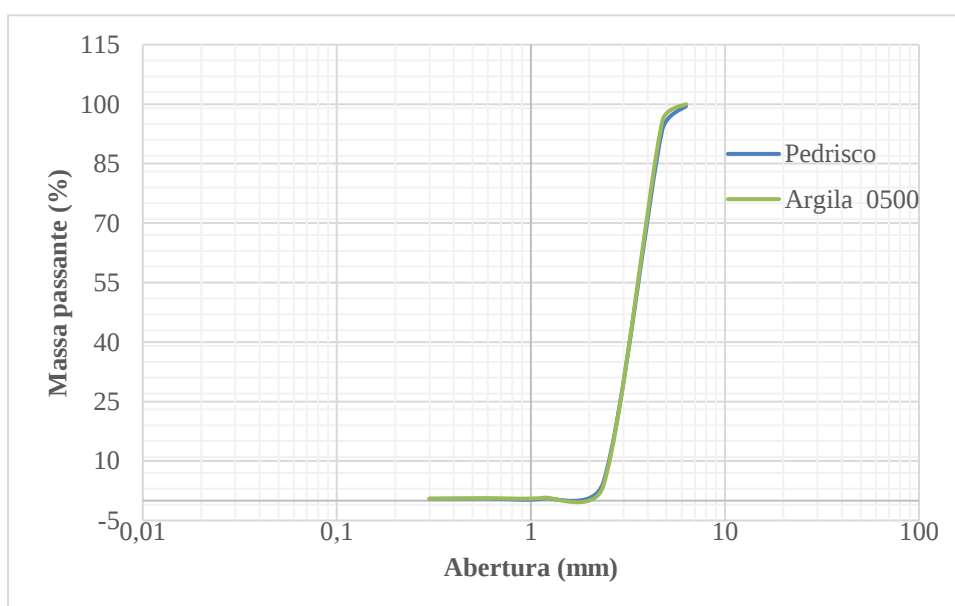


Figura 12 - Curva granulométrica dos agregados graúdos (O autor, 2022).

Observa-se que a distribuição granulométrica da Tabela 7 do pedrisco e da argila expandida 0500 apresentaram módulos de finura de 5,00 e 4,99, bem como diâmetros máximo de 6,3 mm e 4,75 mm, respectivamente.

A Figura 12 trata-se da curva granulométrica dos agregados graúdos, em análise, pode-se constatar que ambos os materiais, apresentaram granulometria uniforme, em que a curva é quase toda vertical, sem alteração das frações dos grãos, tendo sua predominância uniforme. Seguindo os parâmetros do Cu (coeficiente de uniformidade), pode-se classificar o pedrisco e a argila expandida como material uniforme.

c) Massa unitária e Massa específica

São apresentados na Tabela 8 os valores referentes as massas unitárias em seu estado solto e compactado, assim como as massas específicas dos agregados.

Tabela 8 - Resultado de massa unitária e massa específica dos agregados

Materiais	Massa unitária solta (g/cm³)	Massa unitária compactada (g/cm³)	Massa específica (g/cm³)
Areia	1,521 ± 0,002	1,636 ± 0,002	2,63 ± 0,016
Pedrisco	1,253 ± 0,004	1,344 ± 0,003	2,68 ± 0,005
Argila 0500	0,610 ± 0,017	0,641 ± 0,039	1,28 ± 0,010

Fonte: O autor, 2022.

Os valores encontrados para as massas unitárias e massa específica da areia foram bem próximos aos habituais verificados na literatura.

Diante dos resultados, pode-se verificar que o pedrisco apresentou maiores valores de massa unitária, constatando com isso menores quantidades de vazios, em relação à mesma proporção da argila expandida. Como era esperado, o valor referente a massa específica da argila apresentou-se menor, devido a sua estrutura interna porosa. Alguns pesquisadores também caracterizaram esse agregado leve e encontraram valores semelhantes aos apresentados nesta pesquisa, como pode ser visto a seguir.

Angelin, et al., (2020) em sua pesquisa de avaliação do fator de eficiência do concreto leve autoadensável com resíduo de borracha e argila expandida, encontrou nos ensaios de caracterização dos materiais uma massa unitária de 0,85 g/cm³. Já Antunes, et al. (2019) no estudo de concreto leve: mistura híbrida com argila expandida e vermiculita, encontrou uma massa unitária de aproximadamente 0,5 g/cm³.

Para Araújo (2017) em seu estudo de concreto leve estrutural com argila expandida e incorporação de poliestireno expandido, foi encontrado no ensaio de caracterização dos materiais uma massa específica de $1,52 \text{ g/cm}^3$. Moravia, et al., (2006) obteve uma massa específica de $1,57 \text{ g/cm}^3$ em estudo de caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve.

A ficha técnica da argila expandida fornecida pela empresa produtora Cinexpan, disponibiliza os resultados dos ensaios densidade aparente e massa específica realizado com a argila expandida 0500, sendo os respectivos valores $0,85 \text{ g/cm}^3$ e $1,56 \text{ g/dm}^3$.

Vale salientar, que as variações dos valores encontrados referentes a massa unitária e massa específica das argilas expandidas, vão depender muito do tipo de cada argila, assim como, também se o material foi submetido há algum processo de peneiramento antes da realização destes ensaios.

4.2 PROPRIEDADES DOS BLOCOS DE CONCRETO

Os dados apresentados dos ensaios de caracterização dos blocos concretos no estado endurecido, bem como todas as análises e comparações foram realizadas considerando a média aritmética dos exemplares, seguido pelo desvio padrão. Para análise dos resultados obtidos nos ensaios, verificou-se a normalidade dos dados e assim, realizou-se uma análise estatística através da metodologia de análise de variância (ANOVA), por meio do software Paleontological Statistics (PAST), adotando-se uma probabilidade de significância (valor-p) menor que ou igual a 0,05 ($p \leq 0,05$), seguida do Teste de Tukey.

4.2.1 Absorção de água

A Figura 13 apresenta os resultados das médias e os desvios obtidos através do ensaio de absorção de água realizado nos blocos de concreto.

Para cada formulação os resultados foram comparados pelo método análise de variância, $F = 94,73$; $f_{\text{crítico}} = 3,63$ e valor-p = $2,38 \times 10^{-07}$. Desta forma, foi possível observar uma variação significativa nos valores de absorção de água das formulações ensaiadas, através do teste de Tukey.

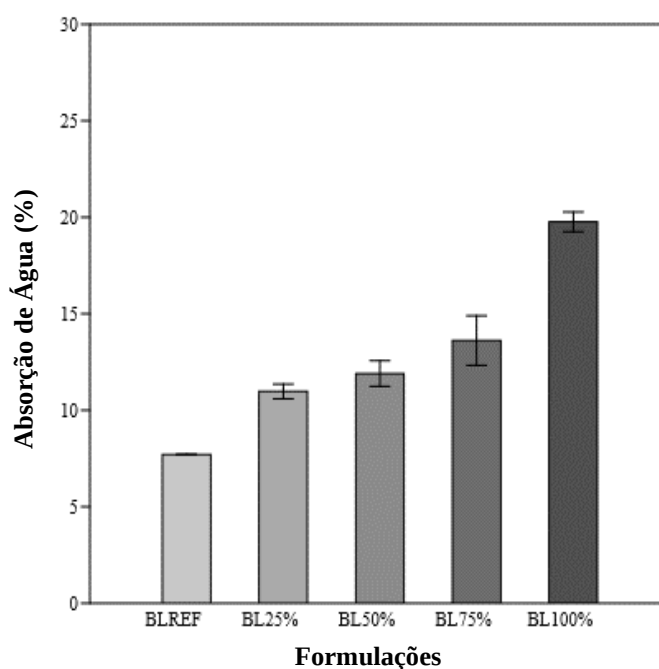


Figura 13 - Resultado da absorção de água nos blocos de concreto (O autor, 2022)

Foi observado uma tendência de aumento nos valores de absorção de água quando há a incorporação da argila expandida no bloco de concreto em relação ao bloco de referência. Quanto maior a porcentagem adicionada, maiores foram os resultados em 38,70%, 50,64%, 73,89% e 161,68%, respectivamente. Angelin (2014) afirma que os fatores que influenciam de forma direta na absorção são a porosidade total do agregado leve, a união entre os poros, o perfil da superfície e a umidade antes da mistura.

Diante dos resultados encontrados os blocos de concreto dos tipos BLREF, BL25% e BL50% atenderam as prescrições da ABNT NBR 6136:2016, onde prescreve que os blocos dos tipos A, B e C produzidos com agregado leve devem possuir absorção de água menor que 13%.

Esse aumento de absorção de água também condiz com as pesquisas de Micheviz, Santos e Teixeira (2011), onde realizaram a análise experimental de blocos de concreto com função estrutural produzidos com agregados leves, e encontraram uma absorção de água de 9,30% com a substituição de total da brita por argila expandida e 8,77% de vermiculita expandida.

Já Eustáquio, et al., (2016) em seu estudo de análise das propriedades de blocos de concreto leve visando o atendimento da norma de desempenho, encontrou uma absorção de água de 11% no bloco com 100% de argila expandida e 3% de vermiculita.

Folgueras, Siqueira e Stramari (2004) realizaram um estudo de blocos de concreto com adição de poliuretano e concluíram que, com o aumento da substituição do agregado graúdo pelo poliuretano expandido, obteve maior absorção de água (21,06%). Para os autores, esse aumento está diretamente relacionado a alta porosidade do material, no entanto não conseguiu atender as prescrições da ABNT NBR 6136:2016.

Gonçalves e Vasconcelos (2019) estudaram a incorporação do poliestireno expandido em blocos de concreto, e puderam avaliar que este material possui como uma boa característica a baixa capacidade de absorção de água, devido a sua estrutura não muito porosa, tendo encontrado uma absorção dentro dos padrões da ABNT NBR 6136:2016 de 8,69%. Já o estudo realizado por Al-Awsh, et al., (2021) de blocos de concretos isolados com poliestireno, confirma a baixa capacidade de absorção desse material, com resultado de 7,75%.

4.2.2 Massa específica

São apresentados na Figura 14 os resultados das médias obtidas através do ensaio de massa específica realizados nos blocos de concreto.

Para cada formulação os resultados foram comparados pelo método de análise de variância, $F = 1984,80$; $f_{\text{crítico}} = 3,48$ e $\text{valor-p} = 1,89 \times 10^{-14}$. Assim, foi possível observar uma variação significativa nos valores de massa específica das formulações ensaiadas, através do Teste de Tukey.

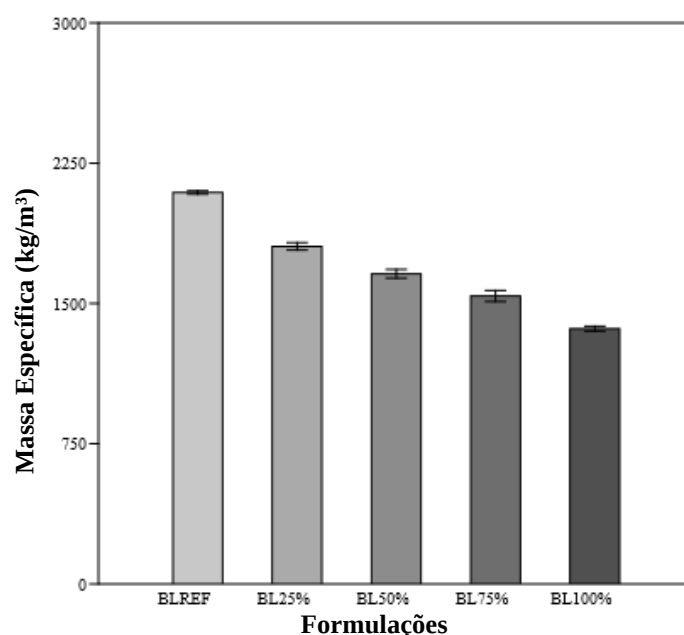


Figura 14 - Resultado de massa específica dos blocos de concreto (O autor, 2022).

Foi observado uma redução nos valores de massa específica quando há a incorporação da argila expandida no bloco de concreto em relação ao bloco de referência. Quanto maior a porcentagem adicionada, maiores foram os resultados de redução de massa específica em 13,52%, 20,55%, 26,00% e 34,70%, respectivamente. Angelin (2014), Rashad (2018) e Scobar (2016) afirmam que o fatores que influenciam de forma direta na massa específica é a estrutura interna do agregado por ser muito porosa e que por sua vez, que a granulometria influencia diretamente na densidade da mistura.

De acordo com a ABNT NBR 8953:2015, a massa específica seca para materiais que utilizam agregados leves de argila expandida precisa ser menor que 2000 kg/m³, dessa forma, os blocos BL25%, BL50%, BL75% e BL100% obtiveram valores de 1809 kg/m³, 1662 kg/m³, 1548 kg/m³ e 1366 kg/m³, respectivamente.

Pesquisas confirmam essa redução da massa específica com a incorporação de agregados leves, pode-se citar a pesquisa realizada por Micheviz, Santos e Teixeira (2011), que encontraram uma massa de 14900 Kg/m³, com a substituição total do agregado graúdo por argila expandida e 8,77% de vermiculita. Já Eustáquio, et al., (2016) em seus estudos obtiveram uma redução em torno de 12% com o uso da argila expandida e vermiculita no bloco de concreto. Afirmando que esta redução está relacionada diretamente na medida que aumenta o teor de incorporação desses agregado leves.

Kumar, et al., (2019) realizaram uma investigação experimental em blocos de concreto leve usando vermiculita expandida, e pode-se encontrar uma massa específica aos 28 dias de 1943 kg/m^3 , classificado como bloco de concreto leve com uma densidade abaixo de 2000 kg/m^3 . Para os autores isso ocorreu, devido a esse tipo de agregado possuir uma estrutura muito porosa.

Folgueras, Siqueira e Stramari (2004) realizaram uma pesquisa sobre a adição de poliuretano expandido, Gonçalves e Vasconcelos (2019) avaliaram as propriedades térmicas, físicas e mecânicas de blocos de concreto com poliestireno expandido e Al-Awsh, et al., (2021) estudaram o desempenho de blocos de concretos isolados. Estes autores supracitados encontraram massas específicas reduzidas em relação a referência em torno de 37,75%, 3,89% e 5,69%, respectivamente. Para eles a redução da massa, baseia-se na baixa densidade dos materiais empregados.

4.2.3 Resistência à compressão

São apresentados na Figura 15 os resultados das médias e desvios dos blocos de concreto quanto a resistências à compressão aos 28 dias.

Os resultados obtidos por cada uma das formulações foram comparados por meio da análise de variância, $F = 54,17$; $f_{\text{crítico}} = 3,06$ e $\text{valor-p} = 9,72 \times 10^{-9}$, foi possível observar uma variação significativa nos valores das resistências à compressão das formulações ensaiadas, através do teste de Tukey.

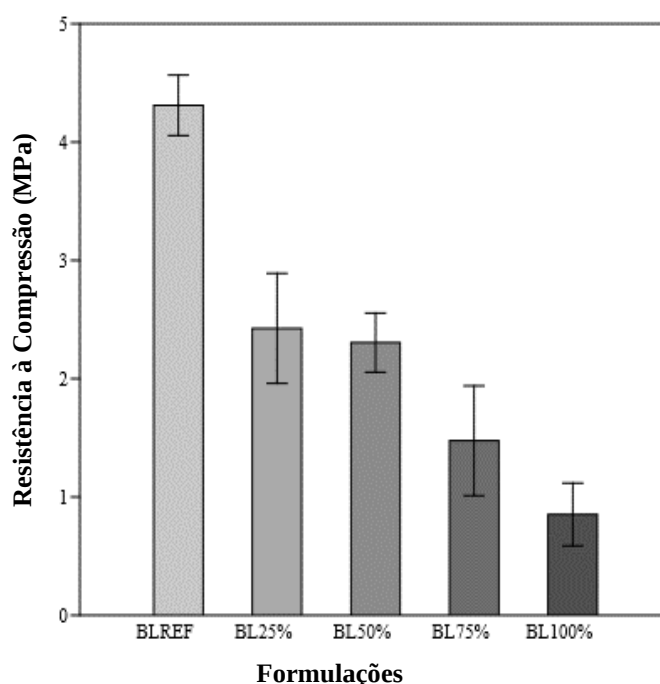


Figura 15 - Resultado de resistência à compressão aos 28 dias (O autor, 2022)

Foi observado uma redução nos valores de resistência à compressão quando há a incorporação da argila expandida 0500 no bloco de concreto em relação ao bloco de referência. Quanto maior a porcentagem adicionada, maiores foram os resultados de redução da resistência à compressão em 43,62%, 46,40%, 65,66% e 81,21%, respectivamente.

O bloco de concreto de referência BLREF, foi o que apresentou maior resistência a compressão aos 28 dias, podendo ser utilizado como bloco de concreto para alvenaria estrutural de classe B, de acordo com a ABNT NBR 6136:2016.

Diante dos resultados encontrados os blocos de concreto dos tipos BL25%, BL50%, BL75%, BL100%, não atenderam as prescrições da ABNT NBR 6136:2016, onde prescreve que a resistências mínima para ser considerado com ou sem função estrutural é de 3 MPa. Angelin (2014) afirma que o fatores que influenciam de forma direta na redução da resistência à compressão são a dimensão e a granulometria dos agregados leves, quando comparados com os agregados naturais.

Micheviz, Santos e Teixeira (2011) em seu estudo encontraram uma resistência para o bloco matriz de 8,93 MPa. Com o uso de 100% de argila expandia, sem adição de vermiculita, a resistência à compressão foi de 6,02 MPa. Já com a substituição de 100% do agregado gráudo

por argila expandida e 8,77% de vermiculita, a resistência reduziu para 4,5 MPa. Ambos os resultados comparados com o bloco matriz tiveram uma redução de 24,03% e 45,91%.

Eustáquio, et al. (2016) com a substituição de 25%, 50%, 75% e 100% do agregado graúdo por agregado leve de argila expandida e 3% de vermiculita em cada uma das formulações, encontraram valores de resistência de 3,52 MPa, 3,69 MPa, 3,61 MPa e 3,85 MPa respectivamente, sendo estes blocos dentro das prescrições ABNT NBR 6136:2016. Para os autores a argila expandida e a vermiculita expandia ambos agregados apresentam resistência menor que os agregados convencionais, possibilitando assim a queda de resistência a compressão.

Os valores de resistência à compressão desta pesquisa, não foram semelhantes aos encontrados na literatura, este fato, pode ser atribuído que alguns autores mencionados, utilizaram para produção dos blocos máquinas produtoras industriais. Em que o adensamento, a energia de compactação e até a própria granulometria, causam influência nas propriedades dos blocos de concreto.

5. COSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão explanadas as principais conclusões obtidas nesta pesquisa, após análise dos resultados dos ensaios de caracterização estudados, assim como sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

O objetivo principal desta pesquisa foi estudar como a incorporação de proporções 25%, 50%, 75% e 100% de argila expandida em substituição parcial e total do agregado graúdo podem influenciar nas propriedades físicas e mecânica do bloco de concreto.

Os procedimentos experimentais para realização dos ensaios de caracterização dos materiais e dos blocos de concreto foram realizados no Laboratório do Instituto Federal de Sergipe - Campus Estância e seguiram as especificações normativas para determinação das propriedades físicas e mecânicas.

Os resultados obtidos e expostos no capítulo 4 propiciaram algumas considerações. Para os blocos de concreto ensaiados, foi possível concluir que:

Em termos de absorção de água fica evidente que o uso desse agregado leve é inversamente proporcional quando comparado com a propriedade de massa específica. Sendo que, quanto maior o teor de argila incorporado, maior será a absorção de água e menor a massa específica. As formulações BL25% e BL50% atenderam as prescrições da ABNT NBR 6136:2016 com uma absorção $\leq 13\%$, tornando-se viável a sua utilização.

A incorporação da argila expandida em blocos de concreto torna-se eficaz no quesito de redução da massa específica do bloco em todas as porcentagens analisadas, considerando-os blocos leves. Uma vez que essa redução possibilita melhores condições para maior praticidade no transporte e maior agilidade na execução, favorece em um menor desgaste físico dos colaboradores em execução e redução do peso próprio das edificações.

Logo, levando em consideração todas as formulações com argila expandida, nenhuma delas atenderam as prescrições da ABNT NBR 6136:2016 nos requisitos de resistência a compressão mínima $\geq 3,0$ MPa, para que pudesse ser considerado com ou sem função estrutural. É compreendida essa queda de resistência podendo chegar até 81,21% de perda no BL100%, pelo fato desse material ser mais fraco que os convencionais. Outros fatores que corroboraram para

essa redução de resistência do bloco de concreto, pode estar ligado à má energia compactação dos materiais, realizada de forma manual, influenciando de maneira direta nesta propriedade, assim como também a dimensão e arranjo granulométrico dos grãos.

Assim, constata-se neste estudo que, para alcançar melhores propriedades do bloco de concreto é indispensável o estudo das variáveis que influenciam as propriedades desse material.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A prática desta pesquisa proporcionou uma grande visão quanto ao estudo envolvendo esse tipo de material, o bloco de concreto com incorporação de teores de argila expandida, porém por conta do curto prazo disponível para a realização da pesquisa, impossibilitaram o aprofundamento dos resultados. Desta forma, sugere-se para futuros trabalhos:

- Utilização de outras proporções de argila expandida do tipo laminada em substituição ao agregado miúdo;
- Análise comparativa do isolamento térmico de blocos de concreto leve com argila expandida versus blocos de concreto convencional;
- Análise comparativa do isolamento acústico de blocos de concreto leve com argila expandida em relação aos blocos de concreto convencional;
- Realizar ensaio de durabilidade de blocos de concreto com incorporação da argila expandida, considerando as variáveis contempladas nesta pesquisa;
- Realizar ensaio de análise diametral, área líquida, retração por secagem com as variáveis contempladas nesta pesquisa;
- Realizar ensaio de resistência ao fogo em blocos de concreto.

REFERÊNCIAS

AL-AWSH, Waleed A. et al. Experimental assessment of the thermal and mechanical performance of insulated concrete blocks. **Journal of Cleaner Production**. v. 283, 2021, 124624.

ALVES, J. D. **Blocos de concreto: práticas de dosagem e controle de qualidade**. Goiânia, GO: Editora da UEG, 2004.

ALVES, Edir dos Santos; LISBOA, Ederval De Souza; MELO; Gustavo Henrique Alves Gomes De. **Materiais de Construção: Concreto e Argamassa**. 2. ed. Porto Alegre: SAGAH, 2017. 227 p. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788595020139>>. Acesso em: 24 maio 2021.

ANDRADE, Ulyy Agda de. **Bloco vazado de concreto para alvenaria de vedação com substituição parcial do agregado natural pelo resíduo de construção civil**. 2017. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia De Sergipe, Aracaju, 2017.

ANGELIN, Andressa Fernanda. **Concreto leve estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, São Paulo, 2014.

ANGELIN, Andressa Fernanda. et al. Evaluation of efficiency factor of a self-compacting lightweight concrete with rubber and expanded clay contents. **Construction and Building Materials**. v. 257, 2020, 119573.

ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei; CARDOZO, Ariádny Comin. **Concreto leve: mistura híbrida com argila expandida e vermiculita**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil, UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2019.

ARAÚJO, Guilherme da Silva. **Concreto leve estrutural com argila expandida e incorporação de poliestireno expandido**. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, São Paulo, 2017.

ASAD, Mohammad; THAMBOO, Julian; ZAHRA, Tatheer. Compressive strength and deformation characteristics of concrete block masonry made with different mortars, blocks and mortar beddings types. **Journal of Building Engineering**. v.38, 2021, 102213.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 35**: Agregados leves para concreto estrutural – Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7215**: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupo de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação do Índice de finura por meio da peneira de 75 m (nº 200). Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 11582**: Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 15900-1:** Água para amassamento do concreto, Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16606:** Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16607:** Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 16916:** Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16917:** Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16972:** Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção 1**. 5. ed. Revisada [reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488 p.

BHOSALE, Avadhoot. et al. Mechanical and physical properties of cellular lightweight concrete block masonry. **Construction and Building Materials**. v. 248, 2020, 118621.

CAVALHEIRO, Odilon Pancaro. **Alvenaria Estrutural**: tão antiga e tão atual. Santa Maria, RS, 2018. Não paginado.

CINEXPAN. **Argila Expandida**, 2021. Disponível em: <<https://www.cinexpan.com.br/index.html>>. Acesso em: 24 maio 2021.

EUSTÁQUIO, H.M.B. et al. Análise das propriedades de blocos de concreto leve visando o atendimento da norma de desempenho. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Natal, RN, 2016.

FEBIN, G. Kottukappalli. et al. Strength and durability properties of quarry dust powder incorporated concrete blocks. **Construction and Building Materials**. v. 228, 2019, 116793.

FELIPE, Alexsandro dos Santos. **Contribuição para a otimização de traços de concreto utilizados na produção de blocos estruturais**. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha de Solteira, São Paulo, 2010.

FERNANDES, Idário D. **Blocos e Pavers - Produção e Controle de Qualidade**. 4. ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2013. p. 200.

FERNANDES, Idário D. **Blocos e Pavers - Produção e Controle de Qualidade**. 7. ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2016. p. 200.

FERNANDES, Idário D. **Blocos e Pavers - Produção e Controle de Qualidade**. 8. ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2019. p. 200.

FOLGUERAS, M. V.; SIQUEIRA, L. V. Maia; STRAMARI, M. R. Adição de Poliuretano Expandido para a Confecção de Blocos de Concreto Leve. **Revista Matéria**. v. 9, 2004, p. 399-410.

FORTES, Ernesto S. et al. High-Strength Concrete Masonry Walls under Concentric and Eccentric Loadings. **Journal of Structural Engineering**. v. 144, 2018, 04018055.

GAO, Hongmei. et al. Dynamic shear modulus and damping of cemented and uncemented lightweight expanded clay aggregate (LECA) at low strains. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**. V. 142, 2021, 106555.

GONÇALVES, P.; VASCONCELOS, R. Avaliação térmica, física e mecânica de blocos de concreto com poliestireno expandido reciclado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, 2019, p. 249-269.

HASHIGUTI, Akemy Alyne. **Estudo sobre alvenaria estrutural com blocos de concreto**. 2018. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

HOLANDA JÚNIOR, Osvaldo Gomes de. **Blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2000. Não paginado.

ISMAEL, T. M.; MOHAMMED, S. D. Structural performance of fiber-reinforced lightweight concrete slabs with expanded clay aggregate. **Materials Today: Proceedings**. v. 42, 2021, p. 2901-2908.

KUMAR, K. Naveen. An experimental investigation on light-weight concrete blocks using vermiculite. **Materials Today: Proceedings**. v. 22, 2019, p. 987-991.

LAVANDOSCKI, Fábio Ioveni. Contribuição ao estudo das normas para o dimensionamento de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. **Revista IPT**. 2016, p. 28-36.

LOPES, Raquel Mesquita. **Avaliação da conformidade de blocos de concreto para alvenaria estrutural comercializados em Fortaleza-CE**. 2017. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2017.

MANOJ, Tangudu; RAO, M.V. Seshagiri; SRAVYA, Y. Lakshmi. Effect of temperature curing on lightweight expanded clay aggregate concrete. **Materials Today: Proceedings**. v. 38, 2021, p. 3386-3391.

MARCHIONI, Mariana Lobo. **Desenvolvimento de técnicas para caracterização de concreto seco utilizado na fabricação de peças de concreto para pavimentação intertravada**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MICHEVIZ, Juliana; SANTOS, Juliane da Costa; TEIXEIRA, Roger Alexandre Nonato da Luz. **Análise experimental de blocos de concreto com função estrutural produzidos com agregados leves**. 2011. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MORAVIA, Weber Guadagnin. et al. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. **Cerâmica**. V.52, 2006, n.322, p.193-199.

MULLER, Luana Caroline. **Estudo de produção e desempenho de blocos de concreto**. 2015. 115 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Regional Do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

NESE, Flávio José Martins; TAUIL, Carlos Alberto. **Alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010. 183 p.

NEVES, Paulo Henrique Lobo. **Caracterização dos agregados da região do baixo Amazonas: elaboração de traços para a produção de blocos de concreto estrutural**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2015.

PARIZOTTO FILHO, Sérgio.; ROMAN, Humberto. **Manual de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos**. [S.l.: s.n.], 2017.

PEREIRA, M. G. F. **Potencial de utilização de agregados leves na produção de concretos estruturais**. 2012. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2012.

RASHAD, Alaa M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview. **Construction and Building Materials**. v. 170, 2018, p. 757-775.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, 2009, p. 119-127.

SALVADOR FILHO, José Américo A.; **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. 2007. 246 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SÁNCHEZ, Emil. **Nova normalização brasileira para alvenaria estrutural**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013, 420 p.

SANTOS, Karolayne Vieira. et al. Estudo para reaproveitamento de resíduo de corte de granito em blocos de concreto. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 3, 2021, p. 277-292.

SCOBAR, R. L. **Concreto leve estrutural**: substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

SELUNG, Catiane Sabben. et al. Avaliação de blocos de concreto para alvenaria com adição de resíduos de borracha de pneus. **HOLOS Environment**. v. 13, 2013, p. 212-223.

SILVA, Aline Ribeiro da. **Proposta de metodologia de dosagem para blocos de concreto**. 2018. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, RN, 2018.