



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

MATTHEUS KARRYERY COELHO RODRIGUES GONÇALVES DE SÁ

**DURABILIDADE DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE
CONCRETO, UTILIZANDO CASCA DE SURURU COMO AGREGADO**

Recife, PE
2024



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

MATTHEUS KARRYERY COELHO RODRIGUES GONÇALVES DE SÁ

**DURABILIDADE DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE
CONCRETO, UTILIZANDO CASCA DE SURURU COMO AGREGADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Emilia Rahnemay
Kohlman Rabbani

Coorientador: Prof^o Dr. Mahmoud Shakouri

Membro interno: Prof^a Dr^a Eliana Cristina
Barreto Monteiro

Membro externo: Prof Dr. Flavio José da Silva

Recife, PE
2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco

S111d Sá, Matheus Karryery Coelho Rodrigues Gonçalves de
Durabilidade de pavimentos intertravados de concreto,
utilizando casca de sururu como agregado. / Matheus
Karryery Coelho Rodrigues Gonçalves de Sá. – Recife: UPE,
Escola Politécnica, 2024.

92 f. il.

Orientadora: Profa. Dra. Emilia R. Kohlman Rabbani
Coorientador: Prof. Dr. Mahmoud Shakouri

Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de
Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

1. Casca de Sururu. 2. Produção Manual. 3. Produção
em Larga Escala. 4. Blocos Intertravados. 5. Substituição de
Agregado. I. Construção Civil – Dissertação. II. Rabbani,
Emilia Rahnemay Kohlman (orient.). III. Shakouri,
Mahmoud (coorient.). IV. Universidade de Pernambuco,
Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. V. Título.

CDD: 690.028 – 23. ed.
Eliane Leitão – CRB4/827

**MATTHEUS KARRYERY COELHO RODRIGUES GONÇALVES
DE SÁ**

**DURABILIDADE DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE
CONCRETO, UTILIZANDO CASCA DE SURURU COMO
AGREGADO**

BANCA EXAMINADORA:

Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **EMILIA RAHNEMAY KOHLMAN RABBANI**
Data: 17/06/2024 19:29:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani
Universidade de Pernambuco

Coorientador



Digitally signed by Mahmoud
Shakouri
Date: 2024.06.20 10:33:50
-06'00'

Prof. Dr. Mahmoud Shakouri
Colorado State University

Examinadores

Documento assinado digitalmente
 **ELIANA CRISTINA BARRETO MONTEIRO**
Data: 20/06/2024 22:48:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro
Universidade de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **FLAVIO JOSE DA SILVA**
Data: 18/06/2024 14:18:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Flávio José da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Recife-PE
2024

RESUMO

A indústria da construção civil é um setor que depende da extração de recursos naturais para a produção de materiais de construção. Além disso, é um grande gerador de poluentes, tanto na fase de produção quanto na aplicação dos materiais em obras. Dessa forma, o estudo visa atender às demandas de uma produção voltada para o enfoque social e sustentável da indústria da construção, aliada a uma demanda local, localizada na Ilha de Deus, Recife, onde há inúmeros resíduos sólidos provenientes da pesca de organismos aquáticos, em sua grande maioria de cascas de sururu, descartadas ao ar livre, o que contribui para o acúmulo de resíduos assoreando o rio e eventualmente a proliferação de doenças devido ao descarte irregular. Este trabalho apresenta um estudo experimental da utilização parcial do resíduo da casca de sururu (RCS) em substituição à areia, tanto em grande escala, automatizado, quanto de forma manual, para produção de blocos intertravados de concreto para pavimentação. Conforme estudos desenvolvidos pela Escola Politécnica de Pernambuco (POLI) da Universidade de Pernambuco (UPE), a porcentagem de substituição da produção dos blocos na fábrica foi definida em 0%, 5%, 10% e 12% representados como F₀; F₅; F₁₀; e F₁₂, com blocos de camadas duplas com revestimento argamassado de 10mm e bloco de concreto com dimensões de 100 mm x 200 mm x 60 mm. A produção manual foi confeccionada a partir de outra pesquisa realizada pela POLI, com substituição parcial do agregado miúdo natural RCS em 0%, 5%, 10% e 12%, denominados de M₀, M₅, M₁₀ e M₁₂. As cascas de sururu beneficiadas para produção fabril, tiveram blocos compactados com tensão de compressão de 2 MPa, e sua dupla camada tinha relação água/cimento de 0,25 para o corpo do bloco e 0,06 para a face de acabamento, onde foram produzidos 200 blocos para cada família, totalizando 800 blocos. O cimento utilizado na produção foi o CPV-ARI. A fabricação de forma manual teve uma produção mínima de 50 blocos por família, com o cimento CPII-Z 32MPa, onde foram adensados manualmente no estado fresco, sendo realizados ensaios de abatimento do tronco de cone. As dimensões dos blocos seguiram o mesmo padrão adotado para produção em grande escala. Foi adotada a relação água/cimento de 0,45. Além disso, foram realizados testes de resistência à compressão, absorção de água, abrasão, ensaio para caracterização óptica via microscopia eletrônica de varredura (MEV) e resistividade. Realizou-se uma análise do comportamento e da interação dos componentes, sem a realização de uma comparação entre os métodos produtivos, com o objetivo de confirmar a durabilidade do bloco intertravado de concreto. Após a realização dos ensaios, verificou-se que, até 12% podem ser aplicados em ciclovias e estacionamentos, mas os melhores resultados, que atenderam às normas nacionais e internacionais, foram os blocos com porcentagem de até 10% para cada método produtivo. Dessa forma, a utilização do resíduo da casca de sururu, além de atender uma demanda socioambiental da cidade do Recife, apresenta uma possibilidade viável de utilização do resíduo na produção de novos materiais de construção, incentivando o desenvolvimento de materiais sustentáveis.

Palavras-chave: Casca de sururu; Produção manual; Produção em larga escala; Blocos intertravados; Substituição de agregado.

ABSTRACT

The construction industry is a sector that depends on the extraction of natural resources for the production of building materials. In addition, it is a major generator of pollutants, both in the production phase and in the application of materials on construction sites. The study therefore aims to meet the demands for socially and sustainably focused production in the construction industry. construction industry, combined with a local demand, located in Ilha de Deus, Recife, where there is a lot of solid waste from fishing for aquatic organisms, mostly sururu shells, discarded in the open air, which contributes to the accumulation of waste, silting up the river and eventually the proliferation of diseases due to irregular disposal. This work presents an experimental study of the partial use of the sururu shell residue (RCS) as a substitute for sand, both on a large-scale, automated scale, both automated and manual, for the production of interlocking concrete paving blocks. According to studies carried out Polytechnic School of Pernambuco (POLI) of the University of Pernambuco (UPE), the percentage of substitution of block production in the factory was set at 0%, 5%, 10% and 12% represented as F0; F5; F10; and F12, with double-layered blocks with a 10mm mortared coating and concrete blocks with dimensions of 100 mm x 200 mm x 60 mm. The manual production was based on another study carried out by POLI, with partial substitution of the natural RCS aggregate at 0%, 5%, 10% and 12%, called M0, M5, M10 and M12. The sururu shells processed for factory production had blocks compacted with a compressive stress of 2 MPa, and their double layer had a water/cement ratio of 0.25 for the body of the block and 0.06 for the finishing face, where 200 blocks were produced for each family, totaling 800 blocks. The cement used in production was CPV-ARI. Manual production had a minimum of 50 blocks per family, using CII-Z 32MPa cement, where they were manually compacted in the fresh state and cone trunk slump tests were carried out. The dimensions of the blocks followed the same standard adopted for large-scale production. A water/cement ratio of 0.45 was adopted. In addition, tests were carried out on compressive strength, water absorption, abrasion, optical characterization via scanning electron microscopy (SEM) and resistivity. An analysis of the behavior and interaction of the components was carried out, without comparing the production methods, with the aim of confirming the durability of the interlocking concrete block. After carrying out the tests, it was found that up to 12% can be applied to cycle paths and parking lots, but the best results, which met national and international standards, were the blocks with a percentage of up to 10% for each production method. Thus, the use of sururu shell waste not only meets a socio-environmental demand in the city of Recife, but also presents a viable possibility of using the waste in the production of new construction materials, encouraging the development of sustainable materials.

Keywords: Sururu shell; Manual production; Large-scale production; Interlocking blocks; Substitution of aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resíduos da construção e acúmulo de conchas na Ilha de Deus.....	13
Figura 2 – Representação dos tipos de pisos intertravados	19
Figura 3 – Blocos intertravados utilizados em diversos formatos na cidade de Recife	19
Figura 4 – Produção científica anual sobre o RCS aplicado em diversas áreas	21
Figura 5 – Atualização da produção científica anual sobre o RCS aplicado em diversas áreas	21
Figura 6 – Fluxograma Metodológico	24
Figura 7 – Coleta de conchas na comunidade Ilha de Deus	24
Figura 8 – Armazenamento dos blocos no LMC.....	24
Figura 9 – Comunidade Ilha de Deus	25
Figura 10 – Etapas do processo de preparação do RCS adaptado.....	26
Figura 11 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) a) Região estudada do RCS com escala de 2mm; b) Superfície heterogênea com escala 20 μ m; c) Superfície com escala 2 μ m; d) Superfície com escala de 2 μ m.....	29
Figura 12 – Fluxograma das etapas do método de dosagem da ABCP.....	32
Figura 13 – Área de armazenamento de componentes do bloco de concreto na fábrica da Concrepoxi Artefatos.....	34
Figura 14 – Misturador mecânico com 120L de capacidade.....	34
Figura 15 – Blocos em moldes de plástico na produção manual.....	37
Figura 16 – Câmara úmida da produção na fábrica.....	38
Figura 17 – Coleta de resíduos da área superficial do bloco a) Limpeza; b) Quebra da área central do bloco	41
Figura 18 – Fragmentos da área central do bloco intertravado de concreto triturado F12	41
Figura 19 – Base de acoplamento dos blocos triturados	42
Figura 20 – Equipamento do processo de vácuo a) Metalizador; b) Amostras.....	42
Figura 21 – Processo de metalização com ouro e paládio.....	43
Figura 22 – Equipamento de microscopia eletrônica de varredura a) Equipamento; b) Acoplamento das amostras	43
Figura 23 – Representação esquemática do equipamento roda de borracha/areia vertical	45
Figura 24 – Corte de peças produzidas manualmente para realização do ensaio de abrasão... ..	45
Figura 25 – Equipamento roda de borracha para testes de abrasão areia seca desenho esquemático	46
Figura 26 – Disco de borracha vulcanizada utilizada no ensaio de abrasão.....	46
Figura 27 – Areia Normal Brasileira IPT	47
Figura 28 – Formato granulométrico do abrasivo a) Areia NBR 7412 N° 100; b) AFS 50/70 (Ottawa Sand).....	48
Figura 29 – Bico de areia projetando abrasivo tangencialmente à amostra	48
Figura 30 – Equipamento de abrasão com ligação do bico ao recipiente de armazenamento, por mangueira transparente	49
Figura 31 – Lavagem das amostras com aparelho de ultrassom	50
Figura 32 – Secagem com jato de ar comprimido após lavagem ultrassônica	50
Figura 33 – Pesagem da amostra com balança de precisão de 0,0001g	51
Figura 34 – Amostra após realização do ensaio de abrasão	51
Figura 35 – Cervejeira para ensaio de congelamento e descongelamento	53
Figura 36 – Submersão das amostras em solução teste por 24 horas	54
Figura 37 – Adaptação de coletor de resíduos na fase de congelamento	54
Figura 38 – Adaptação de recipiente para coletor de resíduos na fase de descongelamento ..	55
Figura 39 – Amostras na câmara fria.....	56

Figura 40 – Submersão de blocos para lavagem em água corrente.....	57
Figura 41 – Recipiente de resíduo após lavagem amostras produzidas manualmente após 7 ciclos a) M ₀ ; b) M ₅ ; c) M ₁₀ ; d) M ₁₂	57
Figura 42 – Armazenamento do resíduo e pesagem a) Recipiente de plástico; b) Pesagem....	58
Figura 43 – Blocos submersos em solução de hidróxido de cálcio	60
Figura 44 – Resíduos acumulados após submersão em solução de hidróxido de cálcio.....	60
Figura 45 – Aparelho de ensaio de resistividade elétrica a) Visor; b) Conector.....	61
Figura 46 – Ensaio de resistividade a) Bloco produzido manualmente; b) Bloco produzido em larga escala	62
Figura 47 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) blocos produzidos em fábrica a) F ₀ ; b) F ₅ ; c) F ₁₀ ; d) F ₁₂	63
Figura 48 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) blocos produzidos manualmente a) M ₀ ; b) M ₅ ; c) M ₁₀ ; d) M ₁₂	64
Figura 49 – Perda de massa após ensaio de abrasão a) Bloco produzido em fábrica; b) Bloco produzido manualmente	65
Figura 50 – Desplacamento de fragmentos a) Recipiente de congelamento b) Resíduo após lavagem.....	66
Figura 51 – Média e desvio padrão da perda de massa em 7 e 28 ciclos produção fabril a) Após 7 ciclos b) Após 28 ciclos	68
Figura 52 – Média e desvio padrão da perda de massa em 7 e 28 ciclos produção manual a) Após 7 ciclos b) Após 28 ciclos	69
Figura 53 – Relação entre nível de desgaste do ensaio de congelamento e descongelamento em comparação a resistência a compressão a) produção fabril b) produção manual	69
Figura 54 – Média e desvio padrão da resistividade do bloco produzido em larga escala.....	71
Figura 55 – Média e desvio padrão da resistividade do bloco produzido manualmente.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espectrometria de fluorescência de raio-x para caracterização do RCS	28
Tabela 2 – Resultados do estudo para blocos produzidos em larga escala.....	72
Tabela 3 – Resultados do estudo para blocos produzidos manualmente.....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas internacionais analisadas sobre piso intertravado de concreto	20
Quadro 2 – Etapas do beneficiamento em pequena e larga escala	26
Quadro 3 – Ensaio para caracterização do RCS	28
Quadro 4 – Ensaio para caracterização do agregado miúdo	30
Quadro 5 – Tipo de caracterização de acordo com o local de execução do agregado miúdo	30
Quadro 6 – Ensaio para caracterização do agregado graúdo	31
Quadro 7 – Tipo de caracterização de acordo com o local de execução do agregado graúdo	31
Quadro 8 – Caracterização do cimento.....	32
Quadro 9 – Caracterização do aglomerante utilizado.....	32
Quadro 10 – Dosagem dos blocos de concreto	33
Quadro 11 – Traços de referência das produções dos blocos de concreto	33
Quadro 12 – Produção de blocos na fábrica e manualmente.....	35
Quadro 13 – Traço utilizado na confecção do corpo dos blocos (fábrica).....	35
Quadro 14 – Traço utilizado na confecção da dupla camada dos blocos (fábrica)	35
Quadro 15 – Traço utilizado na confecção dos blocos (manualmente).....	35
Quadro 16 – Tipo de forma e prensagem dos blocos	37
Quadro 17 – Resultado de resistência à compressão Mpa (Produção manual).....	39
Quadro 18 – Resultado de resistência à compressão Mpa (Produção fabril)	39
Quadro 19 – Resultados de absorção de água	40
Quadro 20 – Granulometria da areia utilizada no ensaio de abrasão	47
Quadro 21 – Frações granulométricas da Areia Normal Brasileira.....	47
Quadro 22 – Parâmetros de ensaio	49
Quadro 23 – Horário do ensaio de congelamento e descongelamento.....	55
Quadro 24 – Perda de massa após congelamento e descongelamento família I.....	67
Quadro 25 – Perda de massa após congelamento e descongelamento famílias I e III ...	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – EDS da face externa do RCS.....	29
Gráfico 2 – EDS da face interna do RCS	29
Gráfico 3 – Resultado de consistência pelo abatimento do tronco de cone	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Contextualização e justificativa	13
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	15
1.2.2 <i>Objetivo específico</i>	15
1.3 Estrutura do trabalho	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Origem da pavimentação	16
2.2 Blocos intertravados de concreto.....	18
2.3 Estudos sobre a incorporação de resíduos de molusco na construção civil.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Estudo de caso	25
3.1.1 <i>Resíduo de concha de sururu (RCS)</i>	28
3.1.2 <i>Agregado miúdo</i>	30
3.1.3 <i>Agregado graúdo</i>	30
3.1.4 <i>Água</i>	31
3.1.5 <i>Cimento</i>	31
3.1.6 <i>Dosagem</i>	32
3.1.7 <i>Confecção dos blocos</i>	33
3.1.8 <i>Ensaio no estado fresco</i>	36
3.1.9 <i>Moldagem dos corpos-de-prova</i>	37
3.1.10 <i>Ensaio no estado endurecido</i>	37
3.1.11 <i>Análise do peso das amostras</i>	38
3.1.12 <i>Determinação da resistência característica à compressão</i>	38
3.1.13 <i>Determinação da absorção de água</i>	40
3.2 <i>Análise óptica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	41
3.3 <i>Determinação de resistência à abrasão</i>	44
3.4 <i>Método de teste de congelamento e descongelamento</i>	52
3.5 <i>Resistividade elétrica do concreto</i>	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1 <i>Análise óptica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	62
4.2 <i>Ensaio de resistência à abrasão</i>	65
4.3 <i>Ensaio de congelamento e descongelamento</i>	66

4.4 Ensaio de resistividade	70
4.5 Discussão	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5.1 Conclusões.....	75
5.2 Recomendações a trabalhos futuros	76
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A – Ensaio de abrasão em amostras de produção fabril.....	82
APÊNDICE B – Ensaio de abrasão em amostras de produção manual.....	82
APÊNDICE C – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos manualmente (I)	82
APÊNDICE D – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos na fábrica (I)	82
APÊNDICE E – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos manualmente: 2 amostras de cada família (II e III)	91
APÊNDICE F – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos na fábrica: 2 amostras de cada família (II e III)	92
APÊNDICE G – Ensaio de resistividade em blocos produzidos em larga escala ...	93
APÊNDICE H – Ensaio de resistividade em blocos produzidos manualmente	93

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade concedida, oportunizando a realização do curso de mestrado em engenharia civil pela universidade de Pernambuco, onde pude coletar diversos aprendizados com professores e amigos, em especial, a minha orientadora Dra. Emilia Kohlman Rabbani, que me apresentou valores sustentáveis e sociais, me instruiu e aceitou o desafio sobre o tema e sempre proferiu mensagens de incentivo, para que o objetivo fosse conquistado. Agradeço ao meu coorientador Dr. Mahmoud Shakuri que mesmo com a distância e o idioma distinto, sempre se colocou à disposição e sempre me manteve atualizado com os ensaios realizados pelo mundo afora. À minha esposa Camila, que me deu suporte em momentos que acreditava que não seria possível concluir o mestrado, mas ela sempre esteve me apoiando e perdendo noites de sono ao meu lado, para que eu conseguisse superar as minhas dificuldades. Aos meus pais, Ruy e Eva, por me apresentarem o mundo, e por propagar a importância da educação da vida de um cidadão, e o impacto que ela pode gerar para a sociedade. Não poderia deixar de citar meus filhos, João, Theodoro e Matteo, que são minha força diária para superar as dificuldades da vida. Agradeço também a Universidade de Pernambuco, a Escola Politécnica de Pernambuco, o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ao grupo DESS pelo apoio, e ensinamentos, aos mestres Marcionilo Pedrosa Júnior e Caio Victor Vasconcelos que deram a estrutura para que a análise do meu trabalho e a continuação dos ensaios pudessem ter continuidade. Não poderia deixar de mencionar o mestrando Alisson Lopes Silva, pela amizade, companheirismo e apoio durante esse processo. Agradeço também a banca avaliadora que disponibilizou seu tempo e dedicação para entender e compreender os desafios da pesquisa. E não poderia deixar de agradecer à Universidade Federal de Pernambuco, em nome do Dr. Flávio José, que disponibilizou seu tempo, conhecimento e instalações dos laboratórios do INTM e ao Dr. João Ribeiro pela atenção, ensinamentos e auxílio na realização de ensaios no laboratório da TECOMAT. Finalmente, gostaria de enfatizar a importância da fé em Deus nesse processo, pois desde o processo seletivo até o presente momento, ele tem me fortalecido para que os objetivos sejam alcançados.

Meu muito obrigado.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil constantemente traz novas discussões sobre a necessidade de buscar aprimoramentos para o desenvolvimento sustentável, isso se dá pelo fato de ser grande dependente dos recursos naturais e conseqüente geradora de resíduos (Brasileiro; Matos, 2015). Conforme os autores, a indústria da construção civil favorece ações que impactam o meio ambiente, desde o ato da extração de matérias primas para implementação nas obras, durante sua execução e continuando até a destinação final dos resíduos produzidos, gerando inúmeras alterações urbanísticas acompanhadas de áreas impactadas. Devido a grande quantidade de concreto produzida pelo setor da construção civil, utilizando materiais extraídos da natureza, os quais estão cada vez mais carentes, levanta-se a necessidade do surgimento do viés social e sustentável. Diversos resíduos são gerados em diferentes áreas de produção, desde a reutilização de materiais recicláveis até a incorporação de matéria orgânica, sendo agregados como possíveis soluções em misturas de concreto para substituições parciais em materiais da construção civil.

Outro setor que vem gerando grande impacto no meio ambiente é o da aquicultura, pois seu crescimento acarreta uma grande produção de resíduos oriundos de organismos aquáticos. Em 2018, a produção da aquicultura mundial atingiu um recorde de 114,5 milhões de toneladas, sendo desse montante 17,7 milhões de toneladas correspondentes a moluscos bivalves. Fazem parte desses animais os mexilhões, os mariscos, as ostras e as vieiras. Os elevados preços dos bivalves aceleraram a expansão da indústria da aquicultura desses organismos em várias regiões (FAO, 2020). Os resíduos gerados pela pesca desses moluscos têm como consequência o descarte em grandes proporções, que é composto basicamente pela carapaça que envolve o organismo. El Biriane e Barbachi (2021), destacam que, o gerenciamento desses resíduos de conchas é um grande problema em alguns países devido a sua quantidade. Além disso, de acordo com os autores, esse resíduo é classificado como um material perigoso, devido ao elevado risco de transmissão de doenças. Na cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, a comunidade pesqueira da Ilha de Deus, vem sofrendo com o acúmulo destes resíduos, onde levantou-se uma problemática socioambiental, visando a destinação adequada da casca de sururu.

Na busca de uma solução para destinação adequada deste resíduo, pesquisas foram realizadas na Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco nos últimos 5 anos pelo grupo de pesquisa Desenvolvimento Seguro e Sustentável – DESS, com o intuito de desenvolver dosagens de produtos cimentícios com o resíduo de conchas de moluscos bivalves, substituição parcial da areia na fabricação de blocos de piso intertravado e uma revisão sistemática da literatura, para entender as possíveis áreas de atuação do agregado beneficiado oriundo da casca de sururu (Cardoso, 2019; Santos, 2019; Pedrosa Júnior, 2022; Vasconcelos, 2022; Silva, 2022).

1.1 Contextualização e justificativa

A atividade pesqueira de mariscos (malocultura), na Ilha de Deus, produz grandes volumes de resíduos da casca de sururu, gerando um importante problema ambiental urbano, devido a deposição do resíduo nas margens do rio, contribuindo com o surgimento de animais transmissores de doenças, comprometendo a qualidade do ambiente e paisagem local. A ponte que faz ligação com a ilha, possui dimensões que limitam o tráfego de veículos de grande porte, que realizam a coleta do lixo residencial e os oriundos da atividade pesqueira. Deste modo, o elevado volume de resíduos da prática pesqueira, vão se depositando ao redor da ilha, gerando o assoreamento do rio e modificando o habitat dos seres aquáticos da região. Problemas sanitários são observados como ilustra a Figura 1, onde o assoreamento do rio, aliado ao acúmulo de lixos residenciais e de construção, vão tornando um ambiente insalubre aos moradores da região. É possível observar também, que o assoreamento do rio, serve para que os moradores façam ampliações em suas residências e usem como locais para trabalho, fazendo o tratamento da pesca.

Figura 1 – Resíduos da construção e acúmulo de conchas na Ilha de Deus



Fonte: Autor.

Com uma produção de aproximadamente 408 toneladas por ano, o grande acúmulo inadequado dos resíduos da pesca do marisco e principalmente do sururu, que são moluscos bivalves, têm contribuído para o assoreamento no rio local e o desconforto dos moradores com poluição visual, fortes odores e risco a saúde (Cardoso, 2019). A mesma situação foi publicada nos trabalhos de Paiva (2015) e Oliveira (2016) no município de Igarassu, também em Pernambuco. Cardoso (2019) definiu que: “Resíduos poderiam servir como uma substituição parcial dos agregados naturais utilizados na construção civil, de forma a contribuir com a redução de extração dos recursos naturais”.

Nessa condição, a construção civil despontou como um setor de grande potencial para ao reprocessamento e reaproveitamento de resíduos com objetivo de gerar menos impactos ao meio ambiente, reduzindo a extração de recursos naturais, pois a indústria da construção civil, além de consumir diversos materiais oriundos da natureza em seu processo de fabricação, geram também, uma grande quantidade de resíduos sólidos em suas atividades. Um exemplo disso é a confecção de materiais cimentícios que consomem tanto materiais que são naturais (água, agregados e adições minerais) e que estão cada vez mais escassos e distantes dos centros urbanos quanto materiais que possuem elevados custos energéticos e liberação de gases poluentes e/ou que geram o efeito estufa na atmosfera, como o CO₂ (aglomerantes e aditivos químicos) (Maury; Blumenschein, 2012). São áreas distintas da economia, (malococultura e a fabricação de materiais alternativos para construção civil) que afetam diretamente nos fundamentos da sustentabilidade, que são pautadas na responsabilidade da sociedade, cuidado ambiental, e no êxito econômico. Na busca por uma alternativa para solucionar o assunto, minimizar os impactos e o depósito de resíduos, esta pesquisa busca propor a utilização dos resíduos da casca de sururu da Ilha de Deus, como participante da composição de agregados para fabricação de blocos de piso intertravado de concreto.

1.2 Objetivos

Os objetivos da dissertação foram subdivididos entre objetivo geral e objetivos específicos, que estão apresentados nos tópicos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento e a durabilidade de blocos de piso intertravado produzidos de manualmente e em grande escala, com a substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduos de concha de sururu (RCS) em comparação com blocos sem o resíduo, ampliando a gama de testes, para uma análise mais aprofundada da caracterização com a perspectiva de avaliar durabilidade para a incorporação deste resíduo na fabricação de novos materiais da construção civil.

1.2.2 Objetivo Específico

- Identificar os testes realizados em blocos intertravados de concreto;
- Avaliar os fatores que interferem na durabilidade dos blocos.
- Propor a produção de blocos intertravados de concreto com a incorporação de resíduos provenientes da casca de sururu, destinando os resíduos acumulados na Ilha de Deus;

1.3 Estrutura do trabalho

O estudo foi estruturado em cinco capítulos, com a inserção também das referências e apêndices, distribuídos da seguinte forma:

- Capítulo 1: Apresenta-se a abordagem da problemática local do acúmulo do resíduo do sururu, seus impactos e os objetivos da pesquisa.
- Capítulo 2: Retratou-se o embasamento teórico, apresentando a origem da pavimentação intertravada, os estudos sobre a utilização do resíduo ao redor do mundo e a sua aplicabilidade na construção civil, com os métodos de beneficiamento e caracterização dos materiais.
- Capítulo 3: Revela-se a metodologia de ensaios caracterizando com vistas à durabilidade, indicando procedimentos e técnicas para atender os objetivos.
- Capítulo 4: Propõe-se a discutir os resultados dos ensaios obtidos, baseados nas normas regulamentadoras nacionais e internacionais.
- Capítulo 5: Dedicar-se as principais conclusões, as limitações e as porcentagens aceitáveis para a produção de um novo produto para utilização na construção civil.

2. Referencial Teórico

Neste capítulo, buscou-se uma revisão geral sobre temas relevantes à dissertação: a utilização do resíduo da casca de sururu, na substituição parcial da areia, na produção de blocos intertravados de concreto. O objeto desta revisão é fornecer um entendimento mais aprofundado e integrado sobre esses tópicos.

2.1 Origem da Pavimentação

A pavimentação possui uma função importante para o meio social, seja por proporcionar o direcionamento para destinos diversos, gerando conforto no ato de deslocamento de pedestres e de veículos, até mesmo estabelecendo critérios estéticos para uma rua, passeio de pedestres, lombadas, calçadas, estacionamentos e ciclovias.

Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a trenós para o transporte de cargas. Para construção das pirâmides do Egito, entre (2600-2400 a.C.) foram construídas vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. O atrito era amenizado com umedecimento constante por meio de água, azeite ou musgo molhado (Saunier, 1936, p.12).

Com o passar dos anos, os povos sentiram a necessidade de construir caminhos, atalhos e estradas com o intuito de vencer as grandes distâncias que existiam entre diferentes povoados, para então conseguir estabelecer uma comunicação entre eles (Fioritti, 2007). Os povos Etruscos dominaram a Itália no período compreendido entre 800 e 350 a.C. é creditado a estes povos o pioneirismo na construção de caminhos específicos com fins de transporte de pessoas e cargas entre as vilas e colônias da época. As técnicas utilizadas pelos Etruscos visavam ligar distâncias longas, com a preocupação de garantir conforto e resistência através de uma superfície mais plana possível, utilizando os materiais disponíveis e conhecidos na época. As ruas das cidades Etruscas chegavam a 15 metros de largura e no seu revestimento era adicionada pedra de mão, juntamente com um material mais fino, objetivando permitir às pessoas maior segurança quanto ao escorregamento, na presença de água na superfície (Cruz, 2003). Ainda conforme o autor, para construção de caminhos, os Romanos classificavam os tipos de areia, como as de rio, as extraídas dos canais e a do solo natural, eles misturavam os três tipos de areia juntamente com a cal ou calcário, formando uma argamassa e em seguida era inserido o seixo rolado ou pedras de mão espalhadas sobre o caminho.

Já se via uma preocupação com a capacidade estrutural das camadas. Na cidade Italiana de “Puzzeoli”, em 150 a.C., foi encontrado um material conhecido como “puzzolana”, este material usado juntamente com areia e cal tornava a mistura ainda mais resistente, isto evoluiu para o que atualmente chamamos de cimento Portland.

Com o passar dos anos, as estradas adquiriam um relevante papel no comércio, onde a preocupação com as cargas transportadas, conforto no ato de locomoção e agilidade aliado a segurança, tem sido uma meta a ser atingida até os dias atuais. No Brasil, por volta do final do século XVIII, o Governador da capitania de São Paulo, Bernardo José de Lorena, com a supervisão dos engenheiros de Lisboa, tomou a iniciativa de construir no país a primeira via pavimentada, denominada Calçada Lorena, estrada que ligava o Planalto Paulista ao Porto de Santos. Na construção da Calçada Lorena foram utilizadas pedras justapostas de aproximadamente 200 mm de espessura, que foram assentadas sobre bases feitas com pedregulhos e saibro que variavam entre 300 e 500 mm, assim, nesta via foi empregado revestimento semelhantes aos que eram utilizados na antiguidade (Balbo, 2007, p.13, p.14 e p.22).

Com o decorrer dos anos, os processos adotados para confeccionar blocos intertravados de concreto, foram evoluindo, onde a Holanda e Alemanha, tornaram-se precursores no desenvolvimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto (PPC), para aplicar na reconstrução dos países após a Segunda Guerra Mundial. Passando este período, foi incorporado um refinamento maior nas formas das peças, disponibilizando outros modelos de peças, tendo um melhor controle no conceito de intertravamento e a espessura das juntas começava a ser implantado. Além de grande parte dos países europeus, em meados dos anos 1960, o bloco de concreto intertravado já estava consolidado comercialmente nas Américas Central e do Sul e África do Sul. Na década de 1970 cresceu o uso nos Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia e Japão (Cruz, 2003). No início da década de 1980, a produção anual já ultrapassa 45 milhões de metros quadrados, sendo 66% deste total aplicados em vias de tráfego urbano. A indústria mundial de blocos intertravados de concreto no final da década de 1990 chegou à impressionante marca de produção de 100 m² por segundo durante os dias úteis de trabalho (Smith, 2003).

2.2 Blocos Intertravados de Concreto

Os pisos intertravados produzidos com concreto, tem-se notabilizado pela sua praticidade de execução, manutenção e variedade de opções de uso. Sendo assim, o bloco obtém grande espaço no mercado nacional e mundial, abrindo um campo de estudo para o uso de materiais alternativos em sua composição, buscando eficiência e em paralelo, o olhar social, econômico, ambiental e inovador.

Esse tipo de piso apresenta um processo ágil de construção, permitindo o desencaixe e substituições pontuais sem a demolição da peça existente, evitando assim, desperdícios e a geração de resíduos de demolição e construção (RDC) ao meio ambiente. Os pavimentos de concreto se desenvolveram a tal ponto que se pode afirmar não existir um nicho da engenharia que não tenha sido permeado por esse tipo de pavimento, entre os quais pode-se citar: pátios, calçadas, praças, ruas, caminhos, rodovias, pisos industriais, portos, aeroportos e em quase todos os lugares do mundo, em maior ou menor quantidade (Fioriti et al., 2010).

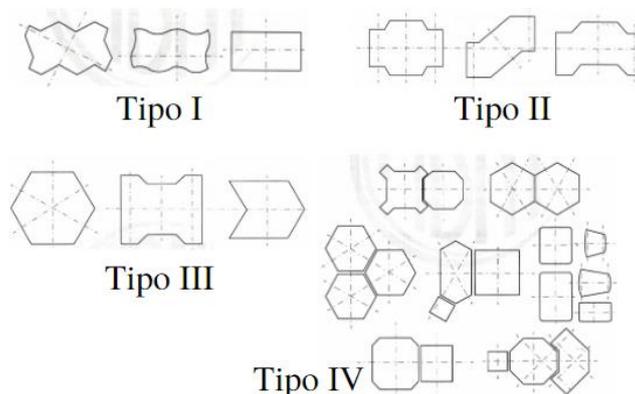
Segundo Ary Júnior; José (2007), os blocos apresentam menor absorção da luz solar, evitando o desconforto da elevação exagerada da temperatura ambiente; Podem ter simultaneamente capacidade estrutural e valor paisagístico; Permite fácil reparação quando ocorre recalque no subleito que comprometa a capacidade estrutural do pavimento; Possibilita fácil acesso a serviços subterrâneos, e o reparo não deixa marcas visíveis; Os blocos podem ser reutilizados; Não necessita de mão-de-obra especializada; Os materiais chegam até a obra prontos para a aplicação; Liberação rápida do tráfego, logo após a conclusão.

Atendendo os requisitos gerais, a Norma NBR 9781 (ABNT, 2013, p.3) o concreto utilizado deve ser constituído de cimento Portland, agregados e água sendo permitido o uso de aditivos e pigmentos. O cimento pode ser de qualquer tipo e classe, devendo obedecer às ABNT NBR 5732, ABNT NBR 5733, ABNT NBR 5735, ABNT NBR 5736, ABNT NBR 11574 e ABNT NBR 12989. Os agregados podem ser naturais, industriais ou reciclados, obedecendo à ABNT NBR 7211, a água de emassamento deve atender à ABNT NBR 15900-1, os aditivos devem atender à ABNT NBR 11768 e os pigmentos devem ser de base inorgânica e atender à ASTM C 979/C 979M.

O piso intertravado de concreto é um material maciço, de fabricação prévia distribuído em 4 tipos desiguais conforme sua geometria, como representado na Figura 2. Por definição é classificado como pavimento intertravado e a NBR 9781 descreve-o por:

Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção (ABNT, 2013, p.7).

Figura 2 - Representação dos tipos de pisos intertravados



Fonte: ABNT (2013)

A Figura 3 demonstra diversas paginações, colorações com áreas de atuações variadas na cidade de Recife. Caetano, Schalch e Pablos (2020) realizaram uma análise sobre as normas sobre os *pavers* na qual está resumida no Quadro 1, em que diferentes valores aceitáveis para quesitos como: resistência à compressão para as diferentes intensidades de tráfego e absorção de água foram representados. Nota-se que há divergências nos valores de referência, mas possuem resultados próximos entre as diferentes normas.

Figura 3 – Blocos intertravados utilizados em diversos formatos na cidade de Recife



Fonte: Autor.

Quadro 1 - Normas internacionais analisadas sobre piso intertravado de concreto

Norma	País	Resistência à compressão (MPa)	Absorção de água (%)
NBR 9781 (ABNT, 2013)	Brasil	> 35 MPa (tráfego leve); > 50 MPa (tráfego pesado)	< 6%
SANS 1058 (2009)	África do Sul	> 25 MPa (tráfego leve); > 35 MPa (tráfego pesado)	< 6,5%
ASTM C936 (2012)	Estados Unidos	> 55 MPa	< 5%
A231.2-95	Canadá	> 50 MPa	-
AS/NZS 4456.4 (2003)	Austrália	> 15 MPa (ciclovias e estacionamento); > 25 MPa (tráfego leve); > 60 MPa (tráfego pesado)	-

Fonte: Adaptado Caetano; Schalch; Pablos (2020).

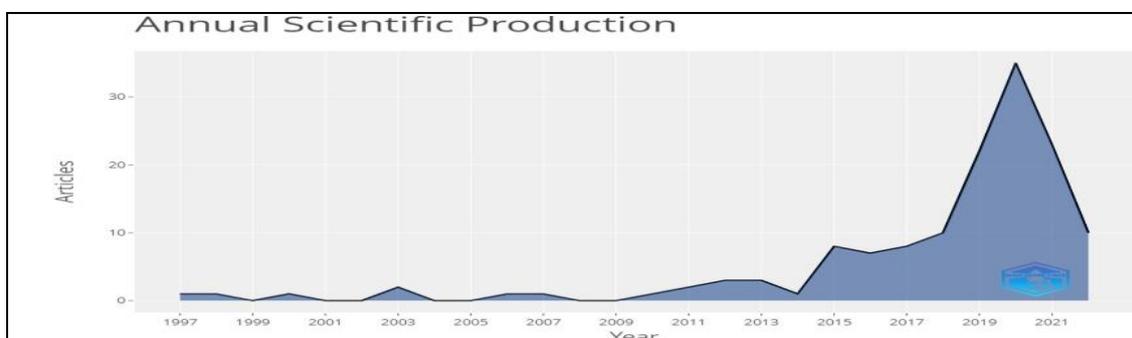
Diversos estudos sobre a utilização de resíduos na composição parcial do bloco de concreto estão sendo apreciados e aperfeiçoados, uma vez que a sociedade necessita de soluções para equilibrar a quantidade de resíduos gerados e, ao mesmo tempo produzir materiais duráveis, onde de acordo com ACI (American Concrete Institute), a durabilidade do concreto é determinada por sua capacidade de resistir à ação do intemperismo, ataque químico, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, e manterá sua forma original, qualidade e facilidade de manutenção quando exposto ao seu ambiente. Patil e Sathe (2020), realizaram uma revisão sistemática da literatura para encontrar os materiais possíveis e aplicáveis na composição parcial do concreto, para a produção de blocos de paver, visando a redução do consumo de recursos do planeta, o desdobramento do aquecimento global e a produção de resíduos hostis. Desse modo, resíduos de origens distintas foram incluídos nas dosagens de concretos para pisos em que podem ser considerados a substituição do cimento por cinzas volantes e resíduos de areia de fundição, além da substituição de areia por agregados da casca de coco, resíduos de pastilhas cerâmicas, resíduos de pneu de borracha, resíduo mineral, entre outros, e apresentaram resultados que validam a viabilidade de implementação.

2.3 Estudos Sobre a Incorporação de Resíduos de Molusco na Construção Civil

Na Escola Politécnica de Pernambuco, estudos foram desenvolvidos utilizando o resíduo beneficiado da casca de sururu para a substituição parcial de agregados miúdos ou aglomerantes (Cardoso, 2019; Santos, 2019).

Pedrosa Júnior (2022) utilizou o RCS como agregado para a produção em fábrica de *pavers* de concreto, para utilização na comunidade da Ilha de Deus, em Recife, Pernambuco. Vasconcelos (2022) de igual forma, utilizou o resíduo do sururu na produção de piso de concreto intertravado, havendo diferença no modo de preparo, onde conduziu-se de forma manual, com a finalidade de avaliar o comportamento mecânico de blocos de pavimentos intertravados. Analisando a produção científica através da revisão da literatura com a utilização do RCS, Silva (2022), aponta que por volta de 2014 houve um aumento considerável na taxa de produção científica, com maior quantidade de trabalhos publicados em 2020, conforme Figura 4.

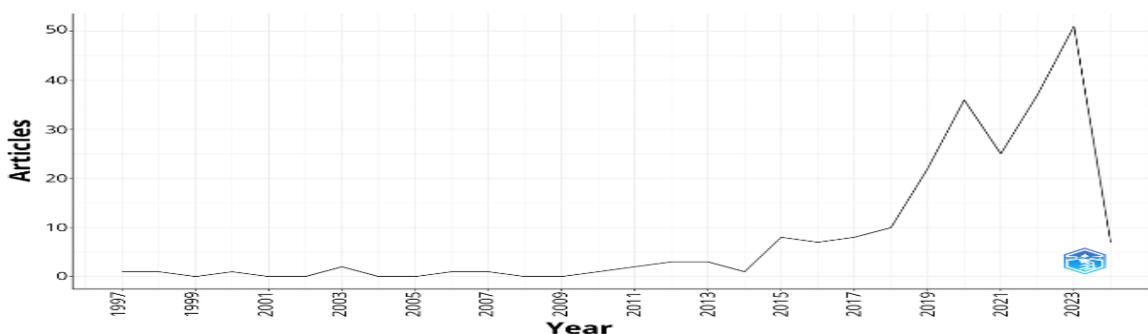
Figura 4 – Produção científica anual sobre o RCS aplicado em diversas áreas.



Fonte: Silva (2022).

Realizando uma atualização do estudo proposto por Silva (2022) observou-se que esta área de estudo vem sendo pesquisada, atingindo seu pico em 2023, conforme a figura 5. Em termos de produção científica, o continente asiático é o que mais abordou o tema do uso da casca de moluscos, tendo a China e Índia com 98 artigos cada, seguido pela Coreia do Sul com 77 artigos, a Malásia contribuindo com 60 artigos e a Tailândia com 44 artigos.

Figura 5 – Atualização da Produção científica anual sobre o RCS aplicado em diversas áreas.



Fonte: Autor

Após uma filtragem na análise dos artigos, observou-se que outros países do mundo também pesquisam sobre o assunto, onde 37 estudos que abordam os resíduos da casca de moluscos são aplicados na construção civil. Esses estudos datam de 2013 a 2024 em que o maior número de publicações também ocorreu em 2023 e tem a China, com o posto de liderança quando utilizam os resíduos da casca na construção civil.

A partir da análise e aplicação desses resíduos na construção civil, a produção de concreto, argamassa, pavimentação e isolamento termoacústico, foram as destinações mais pesquisadas. Nos estudos, foram identificados diversos tipos de moluscos bivalves, como a ostra, a vieira, o mexilhão, o berbigão, o marisco, o caracol marinho, a crepidula e o sururu. Os únicos estudos abordados nesta revisão, com a utilização do resíduo da casca de sururu, foram elaborados pelo grupo DESS da Universidade de Pernambuco, onde Cardoso et al., (2024) propuseram a caracterização e o beneficiamento do resíduo do sururu. Ahsan et al., (2022) verificaram que as amostras de concreto com a substituição do agregado miúdo, pelo resíduo da concha, apresentam uma melhor resposta aos esforços de tensão x deformação, quando são expostas a elevadas temperaturas. Ao superar a barreira de 400 °C, os resíduos da casca, se desagregam e criam um melhor sistema de microporos, possibilitando a perda do calor sem comprometer o núcleo da amostra. Bahadori et al., (2023) observou que a substituição do pó de concha por 5% do cimento Portland, houve uma redução de 30% na absorção total de água e um aumento de 70% na resistividade elétrica, indicando maior resistência a penetração de umidade e corrosão.

Outros estudos (Mo et al., 2018; Tayeh et al., 2020) abordam que há uma melhoria na resistência do concreto aos ataques de sulfatos, ácidos e álcalis quando ocorre a substituição do cimento pelo resíduo da casca. Utilizando o resíduo da casca na pavimentação, Khankhje, Rafieizonooz; Mirza (2022) atestam que a substituição da casca do berbigão em concreto permeável, gera uma redução na densidade do conteúdo de vazios, da permeabilidade à água e uma pequena redução nas propriedades mecânicas, mas a substituição com até 50% de agregado graúdo natural, o concreto pode ser utilizado em áreas de estacionamento e tráfego leve. A utilização da casca de diversos moluscos na construção civil, tem sido um tema abordado, estudado e que tem se tornado uma opção viável para resolver problemas ambientais tanto da destinação dos resíduos dos moluscos, como também, a poluição e agressão ao meio ambiente na extração e produção de materiais da construção civil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em materiais e métodos, descrevem-se os materiais, metodologia, e ensaios utilizados no estudo experimental, para os blocos produzidos pelos processos manual e em larga escala, utilizando o RCS como substituição parcial à areia. Foram produzidos 4 diferentes blocos de concreto na fabricação de forma manual, com proporções de 0%, 5%, 10% e 12% de resíduo de concha de sururu com dimensões de 100mm x 200mm x 60 mm com produção mínima de 50 blocos por lote de fabricação. Esses blocos foram representados como Mr, M5, M10 e M12. A porcentagem de produção em larga escala foi definida em proporções de 0%, 5%, 10%, e 12% seguindo as mesmas dimensões da produção manual. As amostras produzidas em larga escala, foram denominadas de FR, F5, F10 e F12.

O resíduo da concha de sururu (RCS) da comunidade pesqueira, Ilha de Deus, foi coletado entre os anos de 2019 e 2022, para iniciação do processo de beneficiamento. Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022) conduziram o processo de beneficiamento, propondo a utilização dos resíduos de sururu na fabricação de blocos intertravados de concreto. Os resultados dos ensaios de caracterização, resistência à compressão e absorção de água serviram para a análise e compreensão do comportamento dos blocos. A figura 6 apresenta um fluxograma metodológico visando compreender as etapas e estudos anteriores, como ponto de partida para uma análise extensa de ensaios complementares para compreender o comportamento com vistas à durabilidade dos blocos, nas produções em larga escala e manualmente produzidos. A fim de compreender a realidade da comunidade pesqueira da região metropolitana do Recife, realizou-se a coleta de resíduos, acompanhando o processo de beneficiamento proposto por Vasconcelos (2022), conforme a figura 7.

Os blocos produzidos a partir da utilização do resíduo, ficaram armazenados na câmara úmida do Laboratório de Construção Civil (LMC) da Universidade de Pernambuco, para que fossem coletados com suas proporções especificadas para apreciação e realização de ensaios, como apresentado na Figura 8 a seguir.

Figura 6 – Fluxograma Metodológico



Fonte: Autor.

Figura 7 – Coleta de conchas na comunidade da Ilha de Deus



Fonte: Autor.

Figura 8 – Armazenamento dos blocos no LMC



Fonte: Autor.

3.1 Estudo de caso

Devido a problemática mundial e local da destinação de resíduos oriundos da aquicultura, estudos realizados por alunos da Universidade de Pernambuco, tiveram como objetivo reaproveitar a casca de sururu, realizando o beneficiamento para a incorporação do resíduo beneficiado, substituindo parcialmente a areia (agregado miúdo), a fim de produzir um material com um viés social e ambiental. Desta forma, dois métodos produtivos foram utilizados, para atender tanto a demanda em larga escala (fabril), quanto a produção em pequena escala. O resíduo de concha de sururu utilizado para confecção dos blocos intertravados de concreto foram coletados na comunidade pesqueira Ilha de Deus, que fica localizada no bairro do Pina, região central da cidade de Recife-PE, como representado na Figura 9 abaixo:

Figura 9 - Comunidade da Ilha de Deus

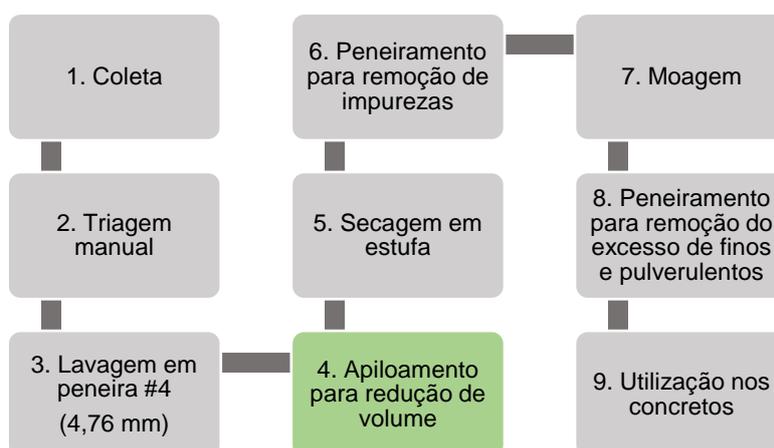


Fonte: Vasconcelos (2022).

Em estudos pioneiros do grupo de estudo Desenvolvimento Seguro e Sustentável (DESS), da Universidade de Pernambuco, o resíduo do sururu foi utilizado como componente na substituição parcial da areia na produção de argamassa. A partir deste trabalho elaborado por Cardoso (2019), foi possível replicar a metodologia de beneficiamento, de modo a permitir a utilização da casca de sururu na produção de novos materiais da construção civil. A partir deste estudo, novas linhas de pesquisas surgiram, com a meta de produzir tanto em larga escala, quanto de forma manual, para buscar uma forma de destinar os resíduos expostos ao ar livre, para produção de blocos intertravados de concreto. Pedrosa Júnior (2022), utilizou o mesmo fluxograma com as etapas para o beneficiamento a fim de produzir blocos na fábrica de pré-moldados, onde uma empresa parceira ajustou as porcentagens da utilização do agregado miúdo para substituir a areia pelo Resíduo da Casca de Sururu (RCS), e utilizou o padrão adotado na confecção rotineira dos blocos.

A produção manual de blocos intertravados de concreto elaborada por Vasconcelos (2022), requereu uma adaptação à metodologia proposta por Cardoso, incluindo a etapa de apiloamento, visando a diminuir o volume do resíduo e proporcionar maior agilidade no processo de produção. As etapas com a adaptação da produção manual, está ilustrada na figura 10 a seguir.

Figura 10 - Etapas do processo de preparação do RCS adaptado



Fonte: Adaptado Vasconcelos (2022).

As etapas para o beneficiamento e escolhas de equipamentos utilizados na fabricação manual e em larga escala, estão demonstradas no Quadro 2.

Quadro 2 – Etapas do beneficiamento em pequena e larga escala

Tipo de Produção	Lavagem	Apiloamento	Secagem Estufa	Moagem	Tempo de Moagem
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	Manual com peneira 4,76mm	Não utilizou	100° C por 24 horas	Liquidificador 500 Watts	30 Segundos
Manual Vasconcelos (2022)	Manual com peneira 4,76mm	Utilizou	100° C por 24 horas	Liquidificador 550 Watts	25 Segundos

Fonte: Autor.

A coleta do RCS, foi realizada na comunidade pesqueira da Ilha de Deus, onde realizaram a triagem manual para retirar resíduos como plásticos, insetos, folhas e lixo doméstico. A lavagem com água corrente de forma manual, acompanhado pela da peneira #4 (4,76mm) foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Universidade de Pernambuco, com objetivo de filtrar resíduos mais finos que a abertura da peneira.

Vasconcelos (2022), utilizou um pilão de cerâmica e secador manual de madeira, com o objetivo de aumentar o volume de conchas na estufa do laboratório de mecânica dos solos (LMS), padronizando em porções de duas mãos cheias de conchas e realizando o apiloamento com 25 golpes com pilão de madeira. Logo em seguida, seguiu o padrão de secagem em estufa como adotado por Cardoso (2019) e Pedrosa Júnior (2022), onde as conchas foram colocadas em estufa com temperatura de 100°C pelo período de 24h, caracterizando a etapa de secagem.

Como apontado por Cardoso (2019), os moluscos bivalves possuem uma “pele” ou “fio” que une as conchas como uma espécie de dobradiça. Por ser um material biológico, após a etapa de secagem o “fio” se desprende mais facilmente da concha podendo ser retirado no processo de peneiramento. Materiais biológicos tendem a se decompor deixando espaços vazios no compósito cimentício, sendo necessária sua remoção da mistura. Além disso, outras impurezas que possam estar contidas nas conchas e que não foram removidas nas etapas anteriores podem ser retiradas nesta etapa.

No processo de moagem, Pedrosa Júnior (2022) e Vasconcelos (2022) seguiram o método utilizado por Cardoso (2019), onde no procedimento de trituração das conchas foi utilizado um liquidificador para que a granulometria do resíduo atingisse a determinada por norma. Pedrosa Júnior (2022), utilizou um liquidificador de potência de 550 watts num tempo de 30 segundos por porção, já Vasconcelos (2022), empregou um liquidificador de 500 watts de potência, com um tempo de 30 segundos, para triturar o resíduo, com posterior peneiramento do material, para que a quantidade de resíduo retida na peneira #4 com abertura de 4,76mm seja novamente utilizada na etapa de moagem e o passante da peneira #200 com abertura de 0,075 fosse descartada, conforme determinação da norma de agregados que estipula o tamanho dos grãos para agregados miúdos. Sendo assim, adequado para utilização do RCS em concretos.

3.1.1 Resíduo de Concha de Sururu (RCS)

Os resíduos utilizados na confecção dos blocos de concreto, como substituição parcial à areia, foram retirados da mesma região. Ensaios para caracterização do RCS seguiram as normas conforme Quadro 3 abaixo.

Quadro 3 - Ensaios para caracterização do RCS

Ensaio	Norma
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT,2009)
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Espectrometria de fluorescência de raios-x	NBR 16137 (ABNT, 2016)

Fonte: Adaptado Vasconcelos (2022).

Ensaios para caracterização do RCS foram realizados a partir da espectrometria de fluorescência de raio-x, determinados em peso percentual conforme Tabela 1. Pode-se observar que a maior composição do RCS é o óxido de cálcio (CaO), com pequenas porcentagens de outros elementos, com composições químicas semelhantes ao do calcário. (Biriane; Barbachi, 2021) afirmam que, pela análise química, o RCS apresenta cerca de 97% de carbonato de cálcio (CaCO₃) em sua composição.

Tabela 1 – Espectrometria de fluorescência de raio-x para caracterização do RCS

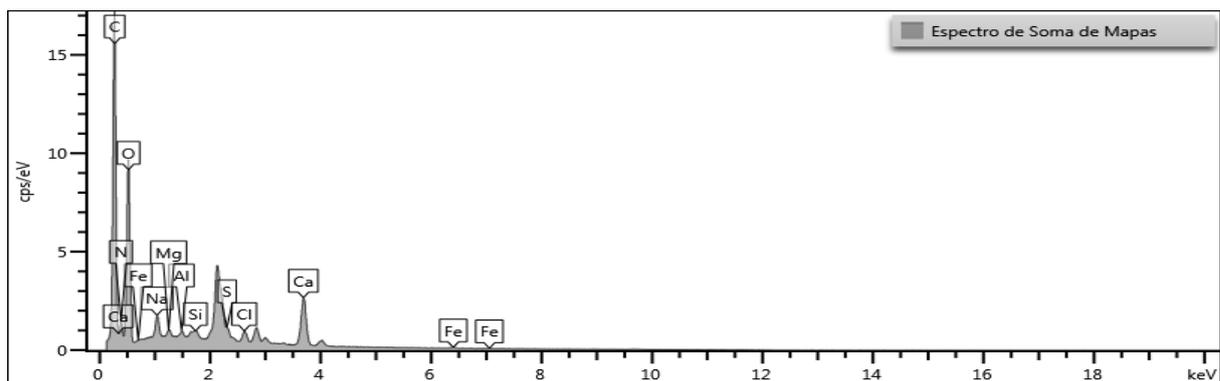
Elemento	Peso (%)	Elemento	Peso (%)
CaO	49,52	P ₂ O ₅	0,07
Na ₂ O	0,46	MgO	0,06
SO ₃	0,44	BaO	0,05
SiO ₂	0,43	K ₂ O	0,02
SrO	0,25	ZnO	0,02
Al ₂ O ₃	0,24	Perda ao fogo	48,34
Fe ₂ O ₃	0,12	Total	100

Fonte: Cardoso (2019).

Conforme Vasconcelos (2022), a composição do RCS, também pode ser notada através do ensaio de Espectroscopia por Energia Dispersiva (EDS), pela análise de constituintes da face interna e da face externa do RCS após o beneficiamento.

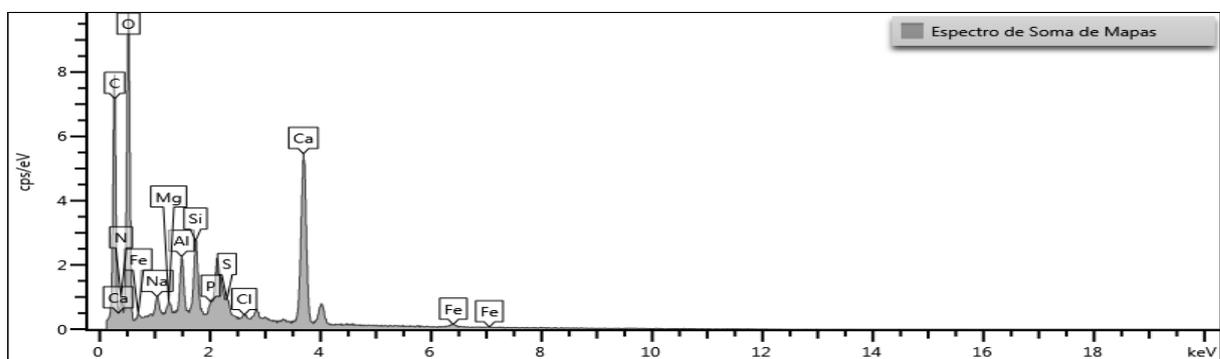
Os resultados obtidos foram a partir de ensaio laboratorial no Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimentos de Materiais (INTM) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O Gráfico 1, elenca o espectro de soma da parte externa do RCS e o Gráfico 2, aponta a parte interna de forma qualitativa. Os dois gráficos apontam a identificação de elementos de forma similar, tanto a face externa como a face interna, com predominância dos seguintes elementos: C, N, O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, Ca, Fe e P, o que faz jus aos resultados de ensaio de espectrometria de fluorescência de raio-x (CARDOSO, 2019; RAVI et al., 2021).

Gráfico 1 – EDS da face externa do RCS



Fonte: Vasconcelos (2022).

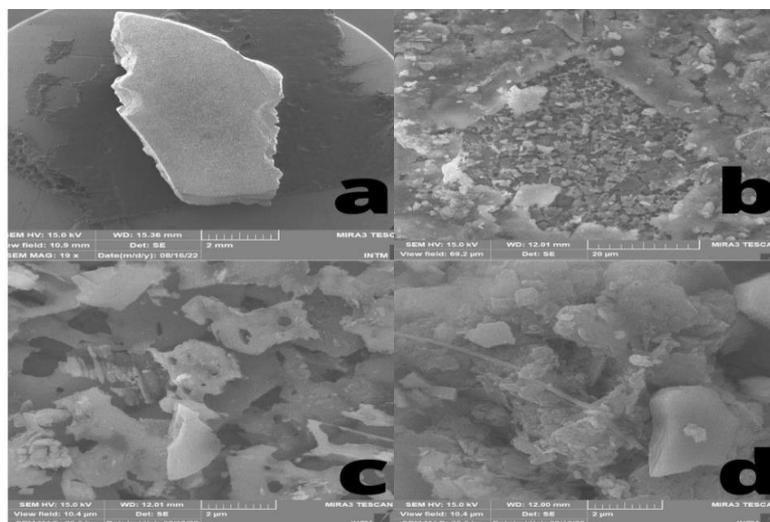
Gráfico 2 – EDS da face interna do RCS



Fonte: Vasconcelos (2022).

Vasconcelos (2022), realizou também o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da parte externa e interna sendo representada pela Figura 11.

Figura 11 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) a) Região estudada do RCS com escala de 2mm; b) Superfície heterogênea com escala 20 μ m; c) Superfície com escala 2 μ m; d) Superfície com escala de 2 μ m



Fonte: Vasconcelos (2022).

Vasconcelos (2022) afirma que é possível notar partículas heterogêneas em sua superfície, além da estrutura lamelar sobreposta, sendo um tipo de estrutura ideal para adsorção desse material em compósitos cimentícios, visto que se adere a pasta de cimento. Assim como no RCS abordado por Quintela (2020) e Cavalcanti (2020), o resíduo oriundo da Ilha de Deus, possui morfologia com estrutura porosa e rugosidade.

3.1.2 Agregado Miúdo

A caracterização dos ensaios do agregado miúdo, seguiram de forma semelhante aos do RCS, sendo representado conforme Quadro 4. A produção em larga escala seguiu as dosagens utilizadas na própria fábrica, já as dosagens para confecção de blocos de concreto intertravado de forma manual, foram adquiridas e manuseadas no laboratório de materiais de construção (LMC) da Universidade de Pernambuco. Vasconcelos (2022), padronizou as amostras, onde o agregado teve que ser peneirado na peneira #4 para retirada e descarte de torrões e porções maiores que a abertura de 4,76mm, além de ficar na estufa por 24h a temperatura de 100°C, havendo uma maior uniformização do agregado miúdo a ser utilizado nas dosagens de concreto, descritas no Quadro 5.

Quadro 4 - Ensaio para caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Norma
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Absorção de água	NBR NM 30 (ABNT, 2001)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Fonte: Adaptado Vasconcelos (2022).

Quadro 5 – Tipo de caracterização de acordo com o local de execução do agregado miúdo

Tipo de Produção	Dimensão máxima do agregado miúdo	Local de caracterização	Secagem em estufa
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	2,38mm	Definida pela Fábrica	Não informado
Manual Vasconcelos (2022)	2,36mm	Caracterizado no laboratório de materiais de construção (UPE)	Sim

Fonte: Autor.

3.1.3 Agregado Graúdo

As normas seguidas para a caracterização do agregado graúdo, para produção manual, seguiram as especificações informadas no Quadro 6. Houve a necessidade da lavagem em água corrente na peneira #4, para que houvesse o descarte e remoção de materiais finos e pulverulentos, como a Norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) recomenda.

O material após a lavagem foi espalhado no laboratório até atingir a umidade higroscópica (Vasconcelos, 2022). Já a produção em larga escala utilizou britas que a fábrica já utilizava em seu processo de produção das peças de piso intertravados (Pedrosa Júnior, 2022). A definição de cada método de produção, está evidenciada no Quadro 7 a seguir.

Quadro 6 - Ensaio para caracterização do agregado graúdo

Ensaio	Norma
Módulo de finura	NBR 7211 (ABNT, 2009)
Absorção de água	NBR NM 30 (ABNT, 2001)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2009)
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Fonte: Adaptado Vasconcelos (2022).

Quadro 7 – Tipo de caracterização de acordo com o local de execução do agregado graúdo

Tipo de Produção	Lavagem	Dimensão máxima do agregado graúdo	Maior peneira com massa retida (%)	Local de caracterização
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	Água de poço artesiano	Não informado	4,76 - (63,35%)	Definida pela Fábrica
Manual Vasconcelos (2022)	Água corrente	19mm	4,80 - (64,80%)	Caracterizado no laboratório de materiais de construção (UPE)

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022).

3.1.4 Água

A água é utilizada para confecção manual, como reagente na mistura foi disponibilizada pelo LMC, sendo fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Dessa maneira, por ser de abastecimento público, pode ser inserida na mistura do concreto pela NBR 15900 (ABNT, 2009). Á produção em larga escala, utilizou água oriunda de poço artesiano, perfurado nas imediações da fábrica, conforme Pedrosa Júnior (2022).

3.1.5 Cimento

O cimento escolhido para o estudo da produção manual, segue a caracterização normativa, conforme o Quadro 8, e foi selecionado o Cimento CP II Z-32. A escolha deste tipo se deu pela disponibilidade dos comércios próximos à Escola Politécnica de Pernambuco sendo, portanto, um dos mais utilizados pelas obras no entorno (Vasconcelos, 2022). Pedrosa Júnior (2022), optou pelo aglomerante utilizado pela fábrica de pré-moldados, por ser composto por um alto teor de clinker e por atingir altas resistências iniciais num curto espaço de tempo, permitindo que as câmaras de cura sejam liberadas mais brevemente, garantindo uma maior produtividade. A seleção do aglomerante para cada método produtivo, está disposta no Quadro 9.

Quadro 8 – Caracterização do Cimento

Característica	Norma
Massa específica	NM 23 (ABNT, 2001)
Tempo de pega	NM 65 (ABNT, 1985)
Perda ao fogo	NM 18 (ABNT, 2012)
Resíduo Insolúvel	NM 15 (ABNT, 2012)
Óxido de Magnésio – MgO	NM 14 (ABNT, 2012)
Trióxido de Enxofre – SO ₃	NM 16 (ABNT, 2012)
Resistência à compressão – 7 e 28 dias	NBR 7215 (ABNT, 2019)

Fonte: Adaptado Vasconcelos (2022).

Quadro 9 – Caracterização do Aglomerante utilizado

Tipo de Produção	Aglomerante
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	CPV – ARI
Manual Vasconcelos (2022)	CPII Z - 32

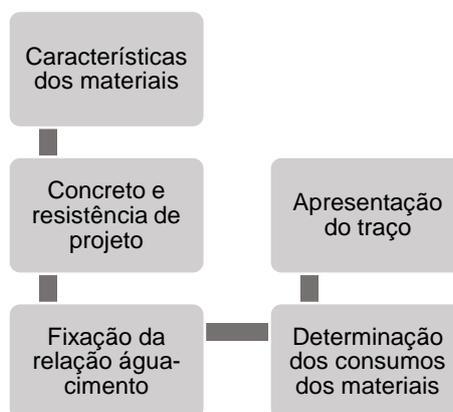
Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022).

3.1.6 Dosagem

A dosagem para o estudo, é a proporção de cada componente para confecção de blocos de concreto com a adição dos RCS como substituição parcial ao agregado miúdo. A distribuição adequada dos materiais de cada elemento, como: cimento, água, agregados miúdos e graúdos, e resíduo da casca de sururu.

A produção manual adotou como referência, o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) que é baseado no método do ACI (American Concrete Institute). Realizada a caracterização de cada material na fase anterior, o método para produção manual, seguiu o fluxograma da Figura 12.

Figura 12 – Fluxograma das etapas do método de dosagem da ABCP



Fonte: Adaptado Vasconcelos (2022).

Pedrosa Júnior (2022), adotou o traço já utilizado pela fábrica, onde o tráfego para pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha fossem atendidos, atingindo uma resistência de 35 Mpa. A partir da escolha do traço referência, foram definidas as proporções de substituição do agregado miúdo pelo RCS em massa, conforme Quadro 10.

Quadro 10 – Dosagem das produções dos blocos de concreto.

Tipo de Produção	Dosagem 1	Dosagem 2	Dosagem 3	Dosagem 4
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	0% (FR)	4,57% (F4,57)	9,71% (F9,71)	12% (F12)
Manual Vasconcelos (2022)	0% (MR)	5% (M5)	10% (M10)	12,5% (M12,5)

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022).

Buscando caracterizar a dosagem de cada componente do bloco referência, o Quadro 11 apresenta o tipo de produção, a quantidade de agregado miúdo, o pó de pedra quando utilizado, o agregado graúdo, cimento e água.

Quadro 11 – Traços de referência das produções dos blocos de concreto.

Tipo de Produção	Agregado Miúdo	RCS	Pó de pedra	Agregado Graúdo	Cimento	Água
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	1,75	0	2,55	3,50	1,25	0,25
Manual Vasconcelos (2022)	2,40	0	Não utilizado	1,65	1,00	0,45

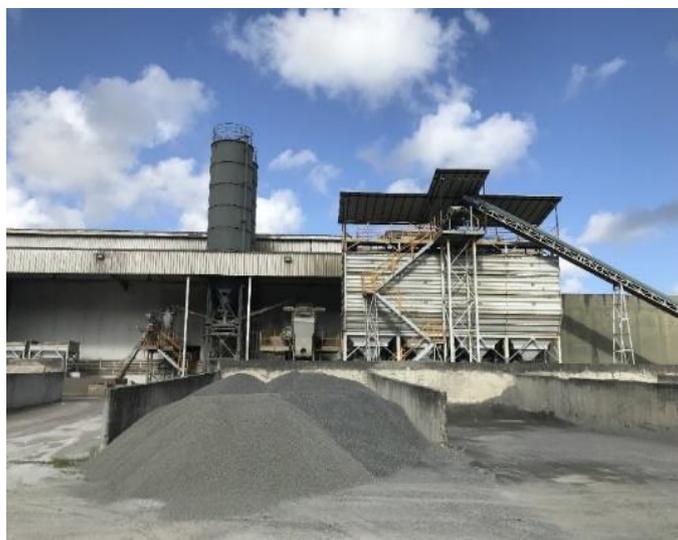
Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022).

3.1.7 Confeção dos Blocos

Os concretos confeccionados na produção em larga escala foram fabricados pela empresa Concrepixi Artefatos, localizada no município de Jaboatão dos Guararapes, na região metropolitana do Recife, à 21km de distância da comunidade pesqueira Ilha de Deus. Pedrosa Júnior (2022), comentou que o sistema de produção da fábrica é 100% automatizado e permite o controle dos processos de dosagem e mistura do traço digitalmente através de uma central de controle proporcionando uma grande capacidade produtiva. Ainda conforme o autor, os materiais que compõem o corpo do bloco de concreto, são armazenados em baias ao ar livre, e são transportados através de uma esteira rolante para silos, já o cimento fica armazenado em silos, conforme a Figura 13.

O bloco foi produzido em duas camadas, onde o corpo do bloco possui um traço determinado pela linha de produção e a segunda camada com espessura de 1 cm é feita com areia fina, areia média e cimento, para um melhor acabamento dos blocos. A produção manual foi realizada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC), onde foram moldados com moldes plásticos e o concreto foi produzido na capacidade máxima do misturador mecânico, sendo dividida em 2 produções de 32L, totalizando 64L (Vasconcelos, 2022), conforme Figura 14.

Figura 13 – Área de armazenamento de componentes do bloco de concreto na fábrica da Concrepoxi Artefatos.



Fonte: Pedrosa Júnior (2022).

Figura 14 – Misturador mecânico com 120L de capacidade



Fonte: Vasconcelos (2022).

A produção manual, teve como um total de 200 blocos sendo subdivididos pelo concreto de referência, adição de 5%, 10% e 12,5%. Já na produção em larga escala, houve a confecção de 600 blocos subdivididos como o concreto de referência, 4,57%, 9,71% e 12%. Visando uma uniformização das amostras produzidas manualmente e em larga escala, foi adotado uma variação de $\pm 0,5\%$ nas porcentagens de resíduo incorporado na produção dos blocos intertravados de concreto, sendo distribuído conforme o quadro 12 a seguir.

Quadro 12 – Produção de blocos na fábrica e manualmente.

Tipo de Produção	Produção 1	Produção 2	Produção 3	Produção 4
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	0% (F0) 200 blocos	5% (F5) 200 blocos	10% (F10) 200 blocos	12% (F12) 200 blocos
Manual Vasconcelos (2022)	0% (M0) 50 blocos	5% (M5) 50 blocos	10% (M10) 50 blocos	12% (M12) 50 blocos

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022).

Os traços utilizados na fabricação dos corpos de prova estão descritos nos Quadros 13 e 14 para produção em larga escala e no Quadro 15 ficou reservado para produção manual.

Quadro 13 – Traço utilizado na confecção do corpo dos blocos (fábrica).

Tipo de Produção	Família	Areia média	RCS	Pó de pedra	Agregado Graúdo	Cimento	Água
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	F0	1,75	0	2,55	3,50	1,25	0,25
	F5	1,67	0,08	2,55	3,50	1,25	0,25
	F10	1,57	0,17	2,55	3,50	1,25	0,25
	F12	1,54	0,21	2,55	3,50	1,25	0,25

Fonte: Adaptado de Pedrosa Júnior (2022).

Quadro 14 – Traço utilizado na confecção da dupla camada dos blocos (fábrica).

Tipo de Produção	Família	Areia fina	Areia média	RCS	Cimento	Água
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	F0	0,75	0,25	0	0,30	0,06
	F5	0,72	0,23	0,05	0,30	0,06
	F10	0,70	0,20	0,10	0,30	0,06
	F12	0,69	0,19	0,12	0,30	0,06

Fonte: Adaptado de Pedrosa Júnior (2022).

Quadro 15 – Traço utilizado na confecção dos blocos (manualmente).

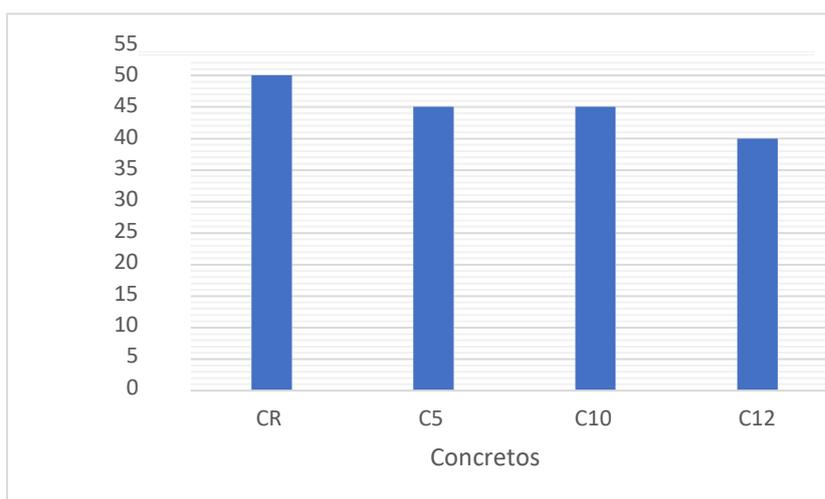
Tipo de Produção	Família	Agregado Miúdo	RCS	Pó de pedra	Agregado Graúdo	Cimento	Água
Manual Vasconcelos (2022)	M0	2,40	0	Não utilizado	1,65	1,00	0,45
	M5	2,28	0,12	Não utilizado	1,65	1,00	0,45
	M10	2,16	0,24	Não utilizado	1,65	1,00	0,45
	M12	2,10	0,30	Não utilizado	1,65	1,00	0,45

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022).

3.1.8 Ensaio no Estado Fresco

Para realização dos ensaios no estado fresco, foram seguidas as determinações conforme a NBR NM 67(ABNT,1998), em que é verificado a consistência do concreto a partir do abatimento do tronco de cone. Esse ensaio tem seu valor, pois tem como objetivo a análise do estado fresco do material e também a forma de adensamento dos corpos-de-prova. Vasconcelos (2022), aponta que após a realização de consistência, pelo abatimento do tronco de cone, foi evidenciado que as famílias dos concretos para confecção dos blocos seguiram os valores estipulados pelo método de dosagem da ABCP para abatimentos entre 40mm e 60mm, em que os resultados apresentaram valores entre 40mm (M₁₂) e 50mm (M₀). O Gráfico 3 é possível acompanhar o abatimento do tronco cone por família de concretos.

Gráfico 3 – Resultado de consistência pelo abatimento do tronco de cone



Fonte: Vasconcelos (2022).

Uma questão a ser observada é a tendência de redução da trabalhabilidade dos concretos com o aumento da adição de RCS (RAVI et al., 2021). Conforme Vasconcelos (2022), os ensaios de MEV realizados para avaliar as faces interna e externa da concha, foram importantes para o entendimento do comportamento do concreto com o resíduo, visto que a estrutura porosa da concha tende a absorver mais pasta e tornar a consistência do concreto mais seca.

3.1.9 Moldagem dos Corpos-de-Prova

Para acomodação e cura dos corpos-de-prova prismáticos de concreto foi realizada a partir da NBR 5738 (ABNT, 2015). Os moldes para fabricação manual e em larga escala seguiram dimensões de 200mm x 100mm x 60mm (comprimento x altura x espessura), onde a fabricação manual utilizou moldes plásticos e a produção em larga escala, aplicou moldes metálicos, seguindo a NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013), conforme Figura 15. Os tipos de moldagem e prensagem dos blocos produzidos em larga escala e manualmente, estão disponíveis no Quadro 16.

Quadro 16 – Tipo de forma e prensagem dos blocos.

Tipo de Produção	Moldagem	Prensagem
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	Fôrma de metal	Tensão máxima de 2 MPa
Manual Vasconcelos (2022)	Fôrma de plástico	Não realizado

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022).

Figura 15 – Blocos em moldes de plástico na produção manual.



Fonte: Vasconcelos (2022).

3.1.10 Ensaio no Estado Endurecido

A análise do estado endurecido, inicia após a desmoldagem dos blocos com dimensões de 200mm x 100mm x 60mm (comprimento x altura x espessura). A NBR 9781 (ABNT, 2013) determina medida nominal do comprimento de no máximo 250mm e a medida real de largura de no mínimo 97mm.

Segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos-de-prova prismáticos devem permanecer nas formas, nas condições de cura inicial até 48h, desde que as condições de endurecimento do concreto permitam a desforma sem causar danos. Na produção manual, Vasconcelos (2022) realizou a cura inicial em 24h em câmara úmida. Já a produção na fábrica, também seguiu para câmara úmida onde os blocos ficaram por um período de 24h até serem empilhados em pallets e separados por percentual de substituição, embalados em plástico e posteriormente destinados para o pátio da fábrica, conforme (Pedrosa Júnior, 2022), como demonstrado na Figura 16 a seguir.

Figura 16 – Câmara úmida da produção na fábrica.



Fonte: Pedrosa Júnior (2022).

3.1.11 Análise do Peso das Amostras

Segundo Vasconcelos (2022), para captação do peso, foram utilizadas balanças de precisão de 0,1g, onde as amostras foram pesadas em diferentes datas. A primeira pesagem foi realizada após o processo de desmoldagem dos blocos, ou seja, após 24h da produção e com umidade natural. A segunda pesagem da confecção manual foi realizada aos 28 dias na condição saturada com superfície seca, seguindo a NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio (ABNT,2013). O peso das amostras produzidas em larga escala, foi aferido apenas para determinação de resistência à característica à compressão e ao ensaio de absorção de água, conforme apresentado por (Pedrosa Júnior, 2022).

3.1.12 Determinação da Resistência Característica à Compressão

A definição da resistência à compressão dos grupos produzidos manualmente e no processo fabril, seguiram a NBR 9781 (ABNT,2013). Na fabricação manual, os corpos de prova foram destinados para uma empresa especializada na realização de ensaios, onde encontravam-se saturados em água por no mínimo 24h (em relação ao horário do ensaio) a uma temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ (Vasconcelos, 2022). Similarmente ao ensaio realizado

pela produção manual, o processo fabril destinou as amostras para uma empresa que realiza serviços de controle de qualidade para a realização do ensaio de resistência à compressão (Pedrosa Júnior, 2022). Nas equações abaixo contém a relação para as resistências à compressão sendo o valor característico estimado pelas equações 01 e 02:

$$f_{pk, est} = f_p - t * s \quad (01)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(f_p - f_{pi})^2}{n-1}} \quad (02)$$

Onde: f_p - é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa); f_{pi} é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (Mpa); $f_{pk, est}$ - é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa); n - é o número de peças da amostra; s - é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (Mpa); t - é o coeficiente de Student, em função do tamanho da amostra.

Os blocos que apresentaram melhores resultados para o devido ensaio, foram os de produção manual, onde a porcentagem dos blocos M5 e M10, mais se aproximaram do estabelecido por norma, apresentado no Quadro 17. Já a produção em larga escala, apresentou valores bem abaixo do esperado, onde levou a realização de uma nova produção de blocos referência, FR a fim de buscar uma análise mais precisa dos resultados. Pedrosa Júnior (2022), verificou com base nos resultados anteriores, que o lote fabricado posteriormente, denominado de NLF_R, a produção dos blocos F0, F5, F10 e F12 apresentou uma diferença significativa, como é possível analisar no Quadro 18.

Quadro 17 – Resultados de resistência à compressão Mpa (Produção manual).

Tipo de Produção	Família	Média (Mpa)	Desvio Padrão
Manual Vasconcelos (2022)	M0	35,2	4,5
	M5	34,5	2,1
	M10	32,9	3,2
	M12	27,6	4,2

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022)

Quadro 18 – Resultados de resistência à compressão Mpa (Produção fabril).

Tipo de Produção	Família	Média (Mpa)	Desvio Padrão
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	F0	12,45	6,94
	F5	16,67	5,66
	F10	20,98	2,97
	F12	15,36	3,32
	NLF _R	27,61	3,57

Fonte: Adaptado de Pedrosa Júnior (2022).

3.1.13 Determinação da Absorção de Água

A determinação de absorção de água dos blocos de concreto, seguiram a NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013), onde é estabelecido, que a absorção de água com o valor médio menor ou igual a 6%, não admitindo nenhum valor individual maior que 7%, a partir de ensaios realizados. Para captação do índice de absorção, utilizou-se a equação 03.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (03)$$

Onde: A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%); m1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g); m2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

As amostras da produção em larga escala seguiram para uma empresa especializada nos serviços de controle de qualidade seguindo as recomendações da NBR 9781 (ABNT, 2013). Já a produção em escala menor, o ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção (LMC), onde houve um preparo inicial dos corpos-de-prova sendo saturados por 24h a temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Em seguida foram pesados na condição saturada de superfície seca, obtendo a massa saturada (Vasconcelos, 2022). Os índices de absorção de água das amostras produzidas em larga escala e manualmente, estão dispostos no Quadro 19 a seguir.

Quadro 19 – Resultados de absorção de água

Tipo de Produção	Família	Absorção de água média (%)
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	0% (FR)	7,0%
	5% (F5)	6,92%
	10% (F10)	6,23%
	12% (F12)	5,19%
	0% (NLFR)	4,38%
Manual Vasconcelos (2022)	0% (MR)	6,57%
	5% (M5)	6,24%
	10% (M10)	7,02%
	12% (M12)	6,21%

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2022) e Pedrosa Júnior (2022).

Observando os resultados, a absorção de água aos 28 dias não corresponde a uma tendência entre a proporção de resíduo de concha da comunidade da Ilha de Deus e a absorção como apontado em outros estudos (Cardoso, 2019; Pedrosa Júnior, 2022). Comparando a absorção de água do concreto de referência com os concretos com RCS, tem-se que houve redução de absorção em M5 e M12,5, em 5,38% e 5,87% respectivamente, e aumento de 6,41% para o M10

(Vasconcelos, 2022). É possível notar também, que a nova produção de blocos de concreto na fábrica NLF_R reduziu o índice de absorção de água em relação ao bloco FR.

3.2 Análise óptica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a realização do ensaio de microscopia eletrônica de varredura, as amostras foram submetidas a uma limpeza da superfície com o objetivo de remover resíduos pulverulentos na face superior do bloco, utilizando uma trincha de 2” com cerdas de gris, seguida de um martelo de 10kg, para triturar a parte central do bloco, conforme demonstrado na figura 17, com o objetivo de triturar e coletar resíduos de granulometria menor para realização do ensaio. Os materiais coletados foram armazenados em recipientes de plástico, devidamente identificados e levados ao laboratório do INTM. A figura 18 apresenta os blocos triturados para o ensaio.

Figura 17 – Coleta de resíduos da área superficial do bloco a) Limpeza; b) Quebra da área central do bloco



Fonte: Autor

Figura 18 – Fragmentos da área central do bloco intertravado de concreto triturado F12



Fonte: Autor

Para iniciar o ensaio, as amostras foram transportadas para uma base de acoplamento, conforme figura 19, onde foram submetidas a um processo de vácuo por 8 minutos no metalizador de modelo SC7620 – Sputter Caater da marca Quorum Technologies, como demonstrado na figura 20.

Figura 19 – Base de acoplamento dos blocos triturados



Fonte: Autor

Figura 20 – Equipamento do processo de vácuo a) Metalizador; b) Amostras



Fonte: Autor

Após o processo de vácuo, o mesmo equipamento realizou uma metalização com uma camada de 9 nanômetros contendo ouro e paládio, para tornar a amostra condutora dos feixes de elétrons. A metalização produz uma luz de cor violeta. Este processo pode ser observado na figura 21 a seguir.

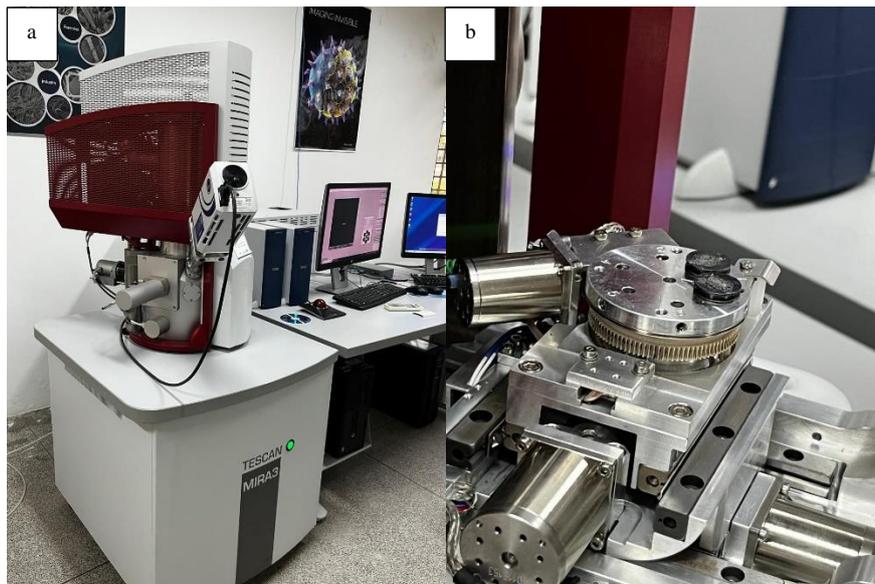
Figura 21 – Processo de metalização com ouro e paládio



Fonte: Autor

A metalização foi dividida em três etapas de 2 minutos e 57 segundos, para assegurar a quantidade necessária para iniciar a microscopia eletrônica de varredura. Após a metalização, as amostras foram transferidas para o equipamento da realização do MEV, com tipo de detector de elétrons secundário, de modelo mira3 da marca Tescan. A figura 22 apresenta o equipamento e a maneira de acoplamento das amostras.

Figura 22 – Equipamento de microscopia eletrônica de varredura a) Equipamento; b) Acoplamento das amostras



Fonte: Autor

3.3 Determinação de Resistência à Abrasão

O método de teste padrão para medir à abrasão, seguiu a norma americana: American Standards of Testing Materials, ASTM G65-00: “Método de teste padrão usando o aparelho de roda de areia seca/borracha”, onde a aferição, tem como objetivo, a produção de dados que classifiquem os materiais de forma reproduzível em sua resistência à abrasão por arranhões sob um conjunto especificado de condições.

Ainda conforme a norma, materiais de maior resistência à abrasão terão menor perda de volume. A equação 4 representa a perda de volume das amostras submetidas ao teste de abrasão.

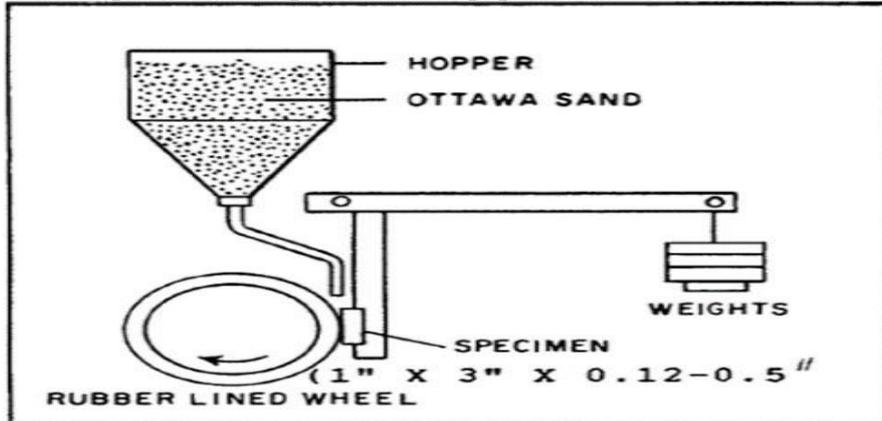
$$VP = \frac{m_i - m_f}{d} \times 100 \quad (4)$$

Onde: VP é o volume perdido em mm³; mi e mf representam a massa inicial e final do corpo de prova (g); d é a densidade do material em (g/cm³).

Dentre os métodos de se medir a resistência ao desgaste abrasivo dos materiais laboratorialmente, está disponível o teste de roda de borracha, que segue a norma ASTM G65-00 (2021), onde é um dos mais utilizados internacionalmente como apresentado na Figura 23.

A intenção desse método de teste é permitir o ensaio de resistência à abrasão para qualquer forma de material. Como o bloco intertravado de concreto, possui dimensões de 200mm x 100mm x 60mm (comprimento x altura x espessura), houve a necessidade do envio dos blocos para corte, em uma empresa especializada em cortes de peças de mármore. Os corpos de prova precisaram ser cortados em 3 amostras para cada família dos blocos, tanto para produção em larga escala, quanto para produção manual, para que pudessem ser acoplados no equipamento do ensaio no laboratório do INTM, para realização do ensaio, totalizando em 24 peças, de acordo com a Figura 24.

Figura 23 – Representação esquemática do equipamento roda de borracha/areia vertical



Fonte: ASTM G65-00 (2021).

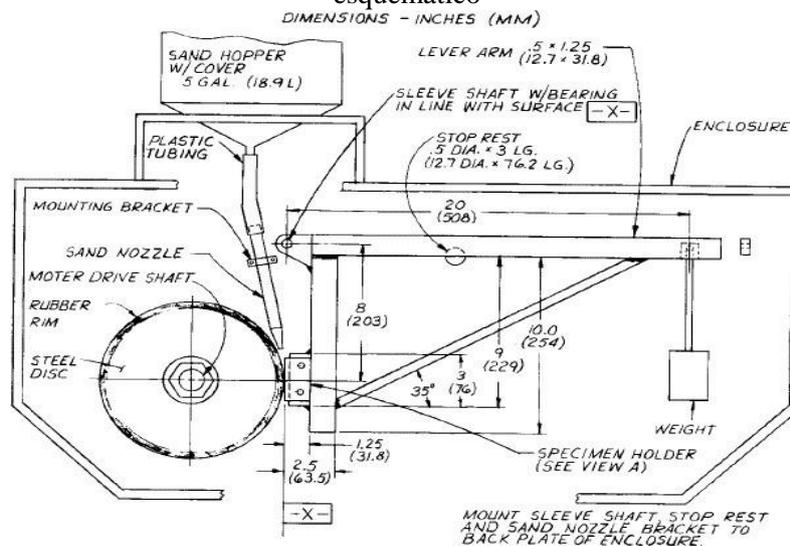
Figura 24 – Corte de peças produzidas manualmente para realização do ensaio de abrasão



Fonte: Autor.

A Figura 25 apresenta uma concepção típica do equipamento, onde impõe a importância de cada elemento constituinte, em que consiste em apresentar de forma segura e fundamental a uniformidade dos resultados dos testes laboratoriais. Entre os componentes do aparelho estão: A roda e o tipo de borracha utilizada; O posicionamento do bico para lançamento do abrasivo; E um sistema de pesos, onde serve de braço de alavanca para aplicar força necessária no corpo-de-prova testado.

Figura 25 – Equipamento roda de borracha para testes de abrasão areia seca desenho esquemático



Fonte: ASTM G65-00 (2021).

A roda de borracha apresentada na Figura 26 é composta por uma borracha vulcanizada e moldada nos seus limites. A dureza da mesma, seguiu uma variação de 58-62 Shore A, conforme especificação da empresa (Celigraf Cilindros de Borracha) que confeccionou a peça. O disco de borracha possui dimensões de 203,20 mm (\varnothing externo do disco); 12,7 mm. (espessura do disco); 12,7 mm (largura e espessura da tira de borracha).

Figura 26 – Disco de borracha vulcanizada utilizada no ensaio de abrasão



Fonte: Autor.

Para o abrasivo, a norma ASTM G65-00 (2021), indica a areia de sílica natural, conhecida como Ottawa Sand, com peneiramento especificado no Quadro 20. Devido à dificuldade de aquisição do abrasivo especificado por norma, foi adotada a Areia Normal Brasileira n. 100, que atende as especificações da NBR 7214 (ABNT, 2015) produzida no Instituto de Pesquisas e Tecnologias (IPT), em concorde com a Figura 27.

Quadro 20 – Granulometria da areia utilizada no ensaio de abrasão

Tamanho da peneira dos Estados Unidos da América	Abertura da peneira	Retido na peneira (%)
40	425 μm	Nada
50	300 μm	Máximo 5
70	212 μm	Mínimo 95
100	150 μm	Nenhum passado

Fonte: Adaptado ASTM G65-00 (2021).

Figura 27 – Areia Normal Brasileira do IPT



Fonte: Autor.

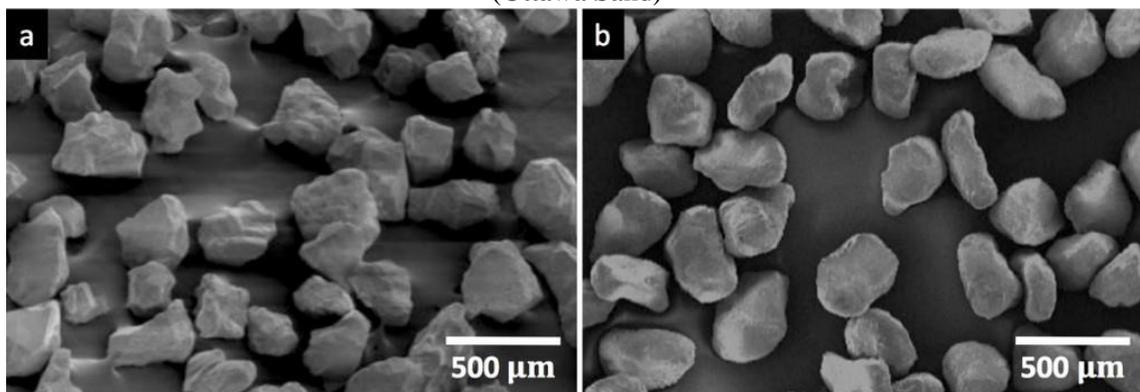
As frações granulométricas da areia Normal Brasileira estão dispostas no Quadro 21. A granulometria da areia do IPT 100 varia entre 150 μm e 300 μm , essa foi a faixa de granulometria que mais se aproxima da recomendada pela norma ASTM G65-00 (2021) que fica entre 212 μm à 300 μm . Figueiredo Neto (2017), comenta que a areia AFS 50/70 (Ottawa Sand) possui uma morfologia mais arredondada que a areia do IPT, onde abrasivos mais angulosos podem causar maior abrasividade dos materiais, como demonstrado na Figura 28.

Quadro 21 – Frações granulométricas da Areia Normal Brasileira

Denominação da fração	Material retido entre as peneiras de abertura nominal de
16	2,4 mm e 1,2mm
30	1,2 mm e 0,6mm
50	0,6 mm e 0,3mm
100	0,3 mm e 0,15mm

Fonte: Adaptado IPT (2020).

Figura 28 – Formato Granulométrico do Abrasivo a) Areia NBR 7412 N° 100; b) AFS 50/70 (Ottawa Sand)



Fonte: Figueiredo Neto (2017).

O bico de areia, representado na Figura 29, deve ser posicionado tangencialmente a amostra, para que seja projetada, produzindo uma cortina de areia precisa e de boa forma durante todo o andamento do teste. O bocal, pode seguir qualquer comprimento disponível, onde haverá uma ligação entre o bico de areia ao recipiente do abrasivo usando mangueira de plástico transparente conforme Figura 30, onde é possível acompanhar o fluxo de areia em tempo real, evitando assim, que o ensaio seja interrompido pela falta de abrasivo no recipiente de armazenamento. O bico deverá ter uma abertura no seu terminal para desenvolver uma velocidade de fluxo de abrasivo de 300 a 400g/min. O bico geralmente é confeccionado a partir do aço inoxidável, devido a sua resistência à corrosão e facilidade de soldadura (Figueiredo Neto, 2017).

Figura 29 – Bico de areia projetando abrasivo tangencialmente à amostra



Fonte: Autor.

Figura 30 – Equipamento de abrasão com ligação do bico ao recipiente de armazenamento, por mangueira transparente



Fonte: Autor.

O motor que aciona o funcionamento do disco de borracha tem uma potência nominal de 0,7 kW (1cv). A taxa de revolução deve estar em 200rpm podendo variar 10rpm para mais ou menos. O aparelho de teste, deve conter um controlador de rotações que irá monitorar o número de rotações durante o ensaio, conforme estipulado pela norma ASTM G65-00 (2021). O sistema de aplicação de carga é composto por: Local de acoplamento da amostra retangular; Braço de alavanca; e Peso. Os pesos aplicados no procedimento, devem seguir os parâmetros da norma citada, conforme o Quadro 22. Para a realização do ensaio, o procedimento “C” foi adotado.

Quadro 22 – Parâmetros de ensaio

Procedimento	Carga (N)	Revoluções (ciclo)	Abrasão Linear (m)
A	130	6000	4309
B	130	2000	1436
C	130	100	71,8
D	45	6000	4309
E	130	1000	718

Fonte: Adaptado ASTM G65-00 (2021).

Para iniciação da exposição da amostra à roda de borracha, as mesmas precisaram passar por um processo de limpeza, para retirada de impurezas do corte na marmoraria e possíveis aumentos de peso do corpo-de-prova por fragmentos diversos. As amostras foram separadas em grupos, com suas devidas proporções e foram colocadas dentro de um becker de vidro com água corrente, e lavadas ultrassonicamente por um período de 10 minutos pelo equipamento de ultrassom conforme Figura 31.

Após a lavagem, as amostras foram submetidas ao fluxo de ar comprimido para auxílio da secagem, em consonância da Figura 32, e seguiu para descanso, onde ficou por um período de 48h para secagem uniforme das amostras.

Figura 31 – Lavagem das amostras com aparelho de ultrassom



Fonte: Autor.

Figura 32 – Secagem com jato de ar comprimido após lavagem ultrassônica



Fonte: Autor.

Segundo a norma ASTM G65-00 (2021), a pesagem das amostras deve ser realizada com balança de precisão de 0,001g e (0,0001 g para procedimento C).

Os corpos de prova foram pesados 3 vezes para anotação de peso antes e depois da realização do ensaio, como demonstrado na figura 33.

Figura 33 – Pesagem da amostra com balança de precisão de 0,0001g



Fonte: Autor.

As amostras foram submetidas ao ensaio de abrasão por um período de 5 min cada amostra, como demonstrado na Figura 34, e foram limpas em duas etapas, onde a primeira teve o auxílio de uma trincha para retirada de resíduos da amostra e do disco de borracha e posteriormente, houve o jateamento de ar comprimido para remoção mais eficaz de impurezas. Após o procedimento de jateamento, as amostras foram pesadas para captação dos dados e verificação da perda de massa.

Figura 34 – Amostra após realização do ensaio de abrasão



Fonte: Autor.

3.4 Método de Teste de Congelamento e Descongelamento

O método de teste padrão para medir a massa perdida do bloco intertravado de concreto a partir do congelamento e descongelamento, segue a norma americana: American Standards of Testing Materials, ASTM C1645-21: “Método de teste padrão para durabilidade do sal de congelamento, degelo e descongelamento de unidades de pavimentação intertravadas”, onde é avaliado a resistência de congelamento e descongelamento de unidades sólidas de pavimentos de concreto interligadas em conformidade com os requisitos dimensionais da especificação C936/C936M.

As unidades são testadas em uma solução de teste que pode ser água de torneira ou solução salina a 3%, dependendo do uso pretendido. Segundo a norma ASTM C1645-21 (2022), o aparelho de congelamento deve consistir em um gabinete adequado ou câmara fria com controles para atingir dentro de 1 hora após a introdução das amostras uma temperatura do ar de $-5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ em todos os locais dentro da câmara, independentemente do número de amostras na câmara. Ainda conforme a norma, a câmara de descongelamento deve manter a temperatura controlada e nunca deverá ser superior a $+30^{\circ}\text{C}$.

Para realização do ensaio, foi utilizado uma geladeira de uso residencial, de modelo ECE100 da fabricante EOS com faixa de temperatura entre -10°C e 10°C . A geladeira possui um compressor, onde ao ser acionado, o aparelho tem como meta alcançar o valor solicitado pelo controlador eletrônico. Apesar da geladeira possuir um mostrador de temperatura, foi realizado o procedimento de validação da temperatura real do equipamento, onde foi introduzida uma sonda para marcação da temperatura no interior da câmara fria. Foi verificada uma variação de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ em relação ao marcado na geladeira, conforme figura 35.

Figura 35 – Cervejeira para ensaio de congelamento e descongelamento



Fonte: Autor.

Os blocos intertravados de concreto, foram limpos com escovas de cerdas rígidas, antes do período de 24 horas de submersão com o auxílio de baldes, onde a camada de água deve ser superior a 5 ± 1 mm, conforme o item 7.3 da norma em questão. para iniciar o primeiro ciclo de congelamento e descongelamento. A etapa de submersão está representada na figura 36.

A etapa de coleta dos resíduos soltos tanto na fase de congelamento, quanto no descongelamento, necessitou o ajuste de recipientes para minimizar a possibilidade de perda das lascas oriundas dos blocos intertravados de concreto em qualquer etapa do ensaio. Para o congelamento, foi utilizado sacos transparentes para conservar alimentos de dimensões de 28 cm x 42 cm, onde em suas extremidades passaram pelo procedimento de furos, para que abraçadeiras de nylon pudessem fixar a camada coletora de resíduos, logo a baixo da grelha da cervejeira. Para o apoio dos blocos, foram utilizados protetores de borracha redondos com espessura de 5mm. A adaptação da câmara fria, está representada na figura 37.

Figura 36 – Submersão das amostras em solução teste por 24 horas



Fonte: Autor.

Figura 37 – Adaptação de coletor de resíduos na fase de congelamento



Fonte: Autor.

Na etapa de descongelamento também se fez necessário uma adaptação para coleta dos resíduos que vão deslocando ao decorrer dos ciclos. Para o recipiente de descongelamento, foi utilizado assadeiras de vidro refratário retangular com dimensões superiores aos dos blocos, onde o fundo da assadeira, foi composto por uma camada de papel toalha, a camada intermediária foi composta de plástico filme, e a camada superior, onde os blocos são apoiados, é constituída pelo mesmo saco transparente e o apoio de borracha, utilizados para coletar as lascas na etapa de congelamento.

O recipiente para etapa de descongelamento, está representado na figura 38 a seguir. Os blocos devem ser submetidos a ciclos de 7, 28 e (se necessário) 49 ciclos, onde deverão ser lavados em solução teste e com auxílio da peneira nº 200, a fim de filtrar os resíduos soltos dos blocos. O ensaio foi realizado na residência do autor do trabalho, onde conforme a norma ASTM C1645-21 (2022), um ciclo de congelamento e descongelamento deve ser concluído a cada 24 horas, onde o ciclo consistirá em 16 horas de congelamento, seguido de 8 horas de descongelamento. Para melhor adaptação dos ciclos, o início do congelamento e da etapa de descongelamento, seguiu conforme o quadro 23.

Figura 38 – Adaptação de recipiente para coletor de resíduos na fase de descongelamento



Fonte: Autor.

Quadro 23 – Horário do ensaio de congelamento e descongelamento

Etapa	Início (hora)	Final (hora)
Congelamento	7 h	23 h
Descongelamento	23 h	7h (dia seguinte)

Fonte: Autor.

Devido à ausência de prateleiras, que fossem suficientes para suportar o peso das amostras e ajustar o manuseio das mesmas, o primeiro ciclo contou apenas com as amostras produzidas de forma manual. Ao adquirir 1 prateleira extra, as amostras que foram produzidas em larga escala foram inseridas na câmara fria. Durante o ciclo de 1 ao 6, apenas os blocos manualmente foram submetidos ao método do teste.

A partir do ciclo 6 as amostras produzidas em larga escala ficaram por um período de 7h da manhã até 7h da manhã do dia seguinte (24 horas) submersos em água corrente, e no início do ciclo 7, para as amostras manualmente produzidas, também foram inseridos, os blocos produzidos em larga escala, iniciando assim, o ciclo 1 de congelamento, demonstrado na figura 39.

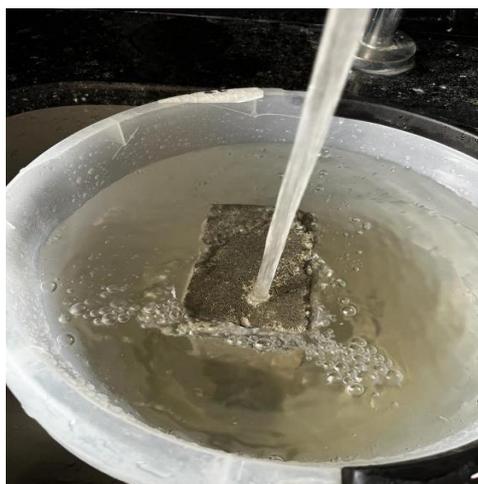
Figura 39 – Amostras na câmara fria



Fonte: Autor.

As temperaturas de cada ciclo, foram anotadas e classificadas, onde dados como a temperatura durante o período de congelamento e descongelamento, aparecimento de lascas no recipiente de coleta de resíduos e algumas observações reservadas para cada ciclo. Após 7 e 28 ciclos de congelamento e descongelamento, os blocos foram submetidos ao processo de lavagem com água corrente e peneirados na peneira de nº 200. Após serem completamente mergulhados em água corrente, procederam-se à limpeza de todas as faces do bloco, de forma que as superfícies dos blocos fossem uniformemente limpas. A figura 40 apresenta a etapa de submersão do bloco.

Figura 40 – Submersão dos blocos intertravados de concreto, para lavagem em água corrente

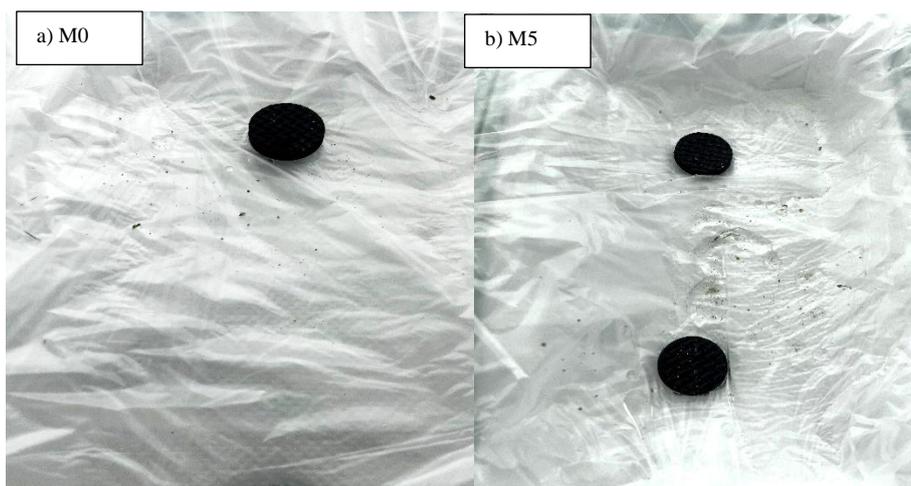


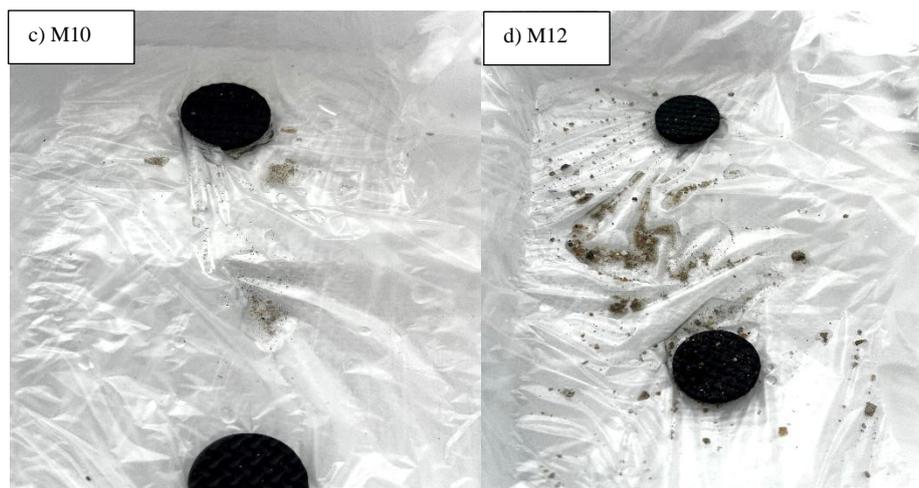
Fonte: Autor.

Posterior a etapa de lavagem, foi realizado o processo de unificação das lascas, do recipiente de congelamento, do recipiente de descongelamento e do resíduo retido na peneira n° 200, representado na figura 41.

A coleta dos resíduos após a lavagem e peneiramento requereu a espera para que os respingos de água pudessem ser evaporados, o que permitiu a realização da coleta, com auxílio de uma trincha de 3/4” com cerdas de gris e armazenado em potes de plástico transparente, conforme a figura 42.

Figura 41 – Recipiente de resíduo após lavagem amostras produzidas manualmente após 7 ciclos a) M0; b) M5; c) M10; d) M12

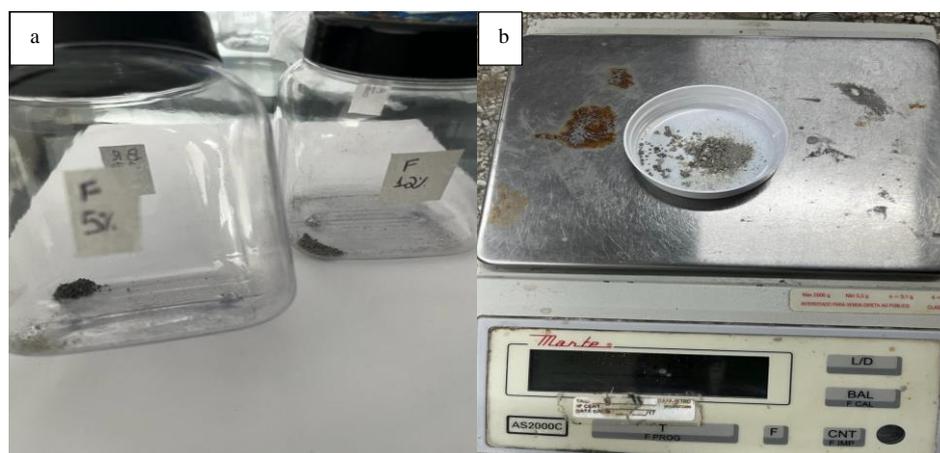




Fonte: Autor.

Após a coleta dos resíduos, as amostras foram armazenadas em recipientes de plástico transparente, identificados com a linha de produção e a porcentagem de cada bloco, para que o material deslocado, pudesse ser transportado e pesado com uma balança de precisão da marca Marte 2000g, modelo AS2000C com divisão de 0,01g.

Figura 42 – Armazenamento do resíduo e pesagem a) Recipiente de plástico; b) Pesagem



Fonte: Autor.

Após o período de 7 e 28 dias de induzir os blocos a ciclos ininterruptos de simulação de congelamento e degelo, a equação 5 apresenta a perda de massa das amostras após o ensaio de congelamento e descongelamento.

$$W_r = W(f + r) - W_f \quad (5)$$

Onde: W_r é o peso do resíduo em (g); $W(f+r)$ é o peso do resíduo seco e papel filtro (g); W_f é o peso inicial do papel filtro (g).

Segundo a norma ASTM C1645-21 (2022), o teste deverá continuar até que 28 ciclos de congelamento e descongelamento tenham sido concluídos ou se a perda média de massa para todas as amostras testadas for superior a 225g/m². Caso a perda da massa média das amostras excedam 225g/m², os testes devem continuar até 49 ciclos. A equação 6, corresponde ao cálculo da área de superfície do bloco. A equação 7 determina a perda de massa de cada amostra após os 7 e 28 ciclos.

$$As = 2(Ls \times Ws + Ts(Ls \times Ws)) \quad (6)$$

Onde: Ls é o comprimento da amostra (mm); Ws é a largura da amostra (mm); Ts é a espessura da amostra (mm).

$$Ml = (Wr \times 1.000.000)/As \quad (7)$$

3.5 Resistividade Elétrica do Concreto

O método de teste padrão para medir a resistividade elétrica segue a norma americana: American Standards of Testing Materials, ASTM C1876-24: “ Método de teste padrão para medir a resistividade elétrica em massa ou condutividade em massa do concreto”, onde visa a determinação da resistividade elétrica ou condutividade elétrica de corpos de prova moldados ou seções tubulares de concreto endurecido após imersão em água saturada com uma solução de poros simulada, a fim de fornecer uma indicação rápida de sua resistência à penetração de fluidos e dissolução de íons agressivos.

Segundo a norma ASTM C1876-24 (2024), as amostras devem ser submetidas ao processo de submersão em solução de poros simulada de hidróxido de cálcio - Ca(OH)₂ por um período de pelo menos seis dias. As amostras foram submersas e armazenadas em recipientes de plástico à temperatura ambiente, conforme a figura 43.

Figura 43 – Blocos submersos em solução de hidróxido de cálcio



Fonte: Autor.

Durante a submersão, o recipiente plástico com as amostras produzidas em larga escala precisou ser substituído, uma vez que havia uma microfissura no mesmo, o que foi detectado no primeiro dia de ensaio. Dessa forma, os blocos permaneceram mergulhados por um período de sete dias, um dia a mais do que mínimo estabelecido pela norma. O teste de resistividade foi realizado em um laboratório da Tecomat Engenharia. Ao descartar a solução teste, observou-se um acúmulo excessivo de resíduos do bloco, não sendo possível identificar qual bloco sofreu maior desgaste, como mostra a figura 44.

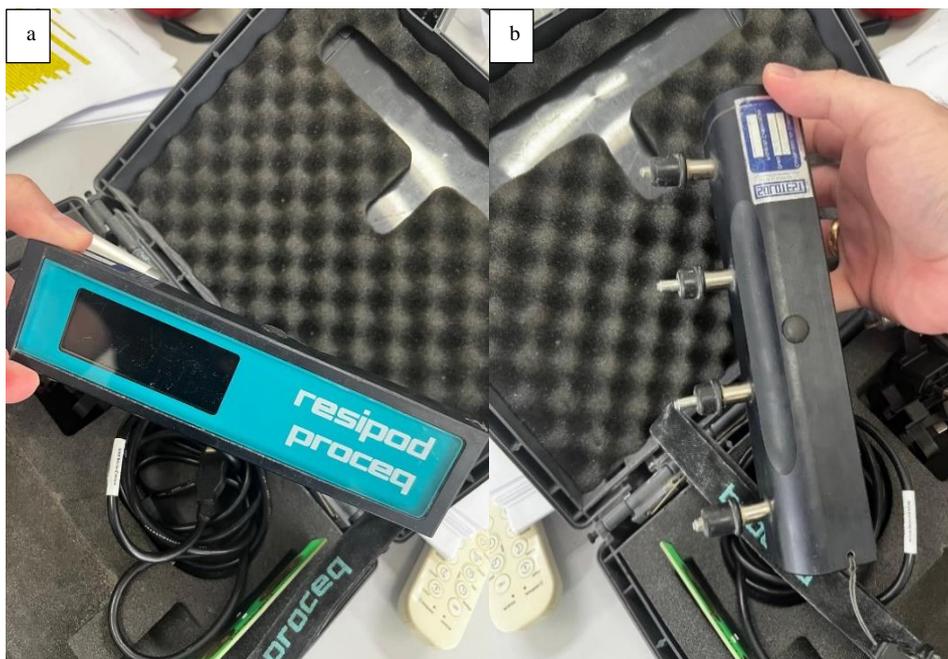
Figura 44 – Resíduos acumulados após submersão em solução de hidróxido de cálcio



Fonte: Autor.

O equipamento utilizado para o ensaio de resistividade é o Resipod da marca Proceq, conforme a figura 45.

Figura 45 – Aparelho de ensaio de resistividade elétrica a) Visor; b) Conector



Fonte: Autor.

A precisão do equipamento utilizado é de $\pm 0,2$ a $\pm 2\text{k}\Omega\text{cm}$ (dependendo da faixa de resistividade) de acordo com o manual do equipamento. O aparelho de realização do ensaio possui 4 sondas Wenner padrão com espaçamento de 50mm. O ensaio seguiu as diretrizes da norma ASTM C1876-24 (2024), onde as amostras devem ser posicionadas verticalmente, sob um porta-amostra de plástico rígido ou outro material não condutor de eletricidade. As amostras não devem passar um período superior a 5 minutos exposto ao ar a fim de alcançar resultados mais precisos.

Os conectores devem ser posicionados num intervalo de 2 a 5 segundos na camada superficial do bloco havendo um pequeno distanciamento do primeiro ponto de leitura da resistividade, para o segundo ponto. O processo de leitura seguiu uma sequência de 5 medições por bloco, sendo que não houve a repetição da leitura no mesmo local de medição, como demonstrado na figura 46.

Figura 46 – Ensaio de resistividade a) Bloco produzido manualmente; b) Bloco produzido em larga escala



Fonte: Autor.

As amostras foram retiradas do recipiente contendo solução de hidróxido de cálcio e, logo em seguida, foi realizada a medição da resistividade verticalmente sob um recipiente não condutor de corrente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

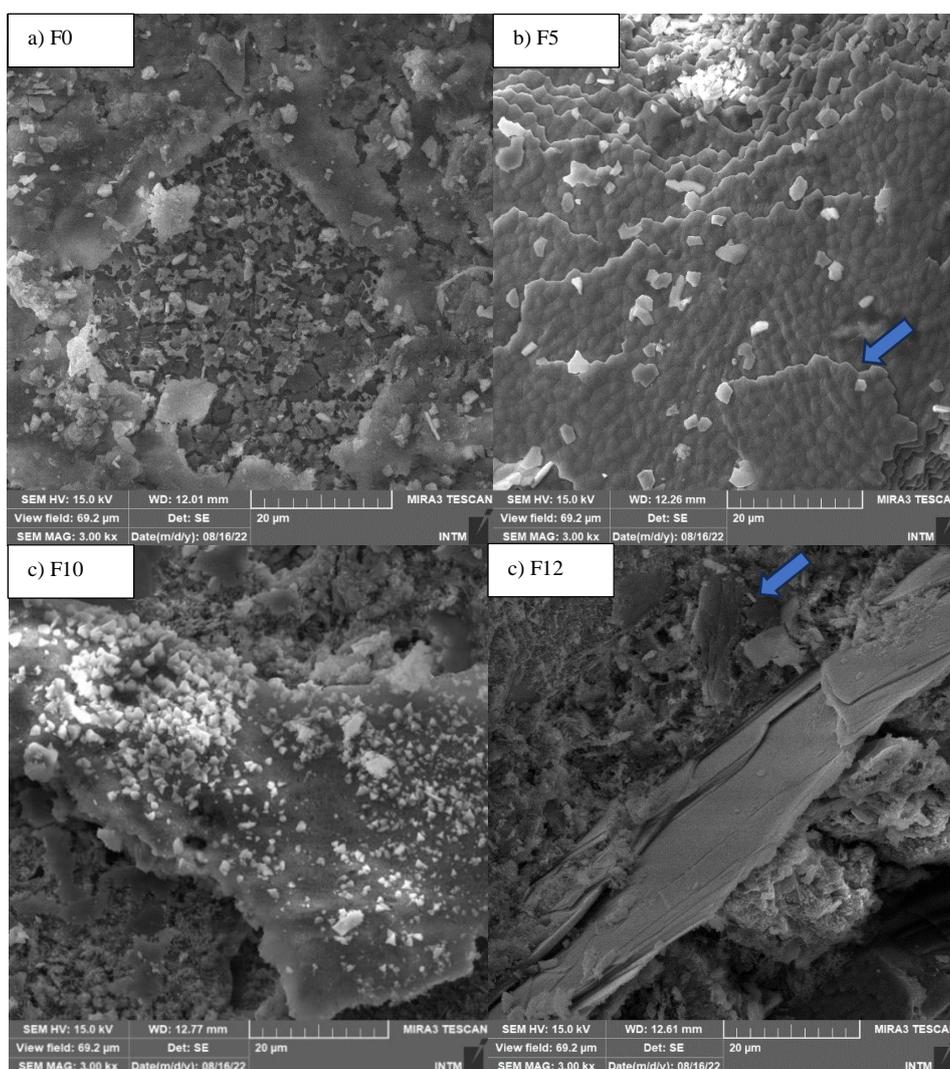
Afim de um melhor entendimento, os resultados estão divididos de acordo com os ensaios realizados: Análise óptica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Ensaio de Resistência a Abrasão, Ensaio de Congelamento e Descongelamento e Ensaio de Resistividade. Cada método seguiu suas normas regulamentadoras ao longo dos procedimentos. Sendo assim, cada análise foi separada em para melhor entendimento das informações coletadas.

4.1 Análise óptica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os resíduos da casca de sururu utilizados para produção dos blocos manualmente produzidos e em larga escala, foram coletados da mesma comunidade pesqueira. Após a realização do ensaio de microscopia eletrônica de varredura nos blocos produzidos na fábrica, com a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de sururu, foi possível observar a estrutura lamelar da casca na composição do bloco.

A forma da casca é diferenciada devido ao método de tritura, onde o liquidificador de uso residencial teve um impacto no formato. A figura 47 apresenta o acúmulo de resíduo quando o teor da casca é acrescido. A compactação do bloco em prensa, pode favorecer o empilhamento das cascas, quando o processo de vibração não é eficaz, permitindo a concentração das cascas em camadas. O empilhamento, pode favorecer o surgimento de espaços vazios, o que pode afetar aspectos de durabilidade. As partículas de cor mais clara são materiais com maior densidade ou também materiais que se metalizaram melhor com ouro e paládio. Os pequenos fragmentos encontrados são, geralmente fragmentos de cimento não hidratado. A quebra da parte superficial do bloco pode ter causado o esmagamento da estrutura da casca do sururu, o que dificulta encontrar sua estrutura bem delimitada.

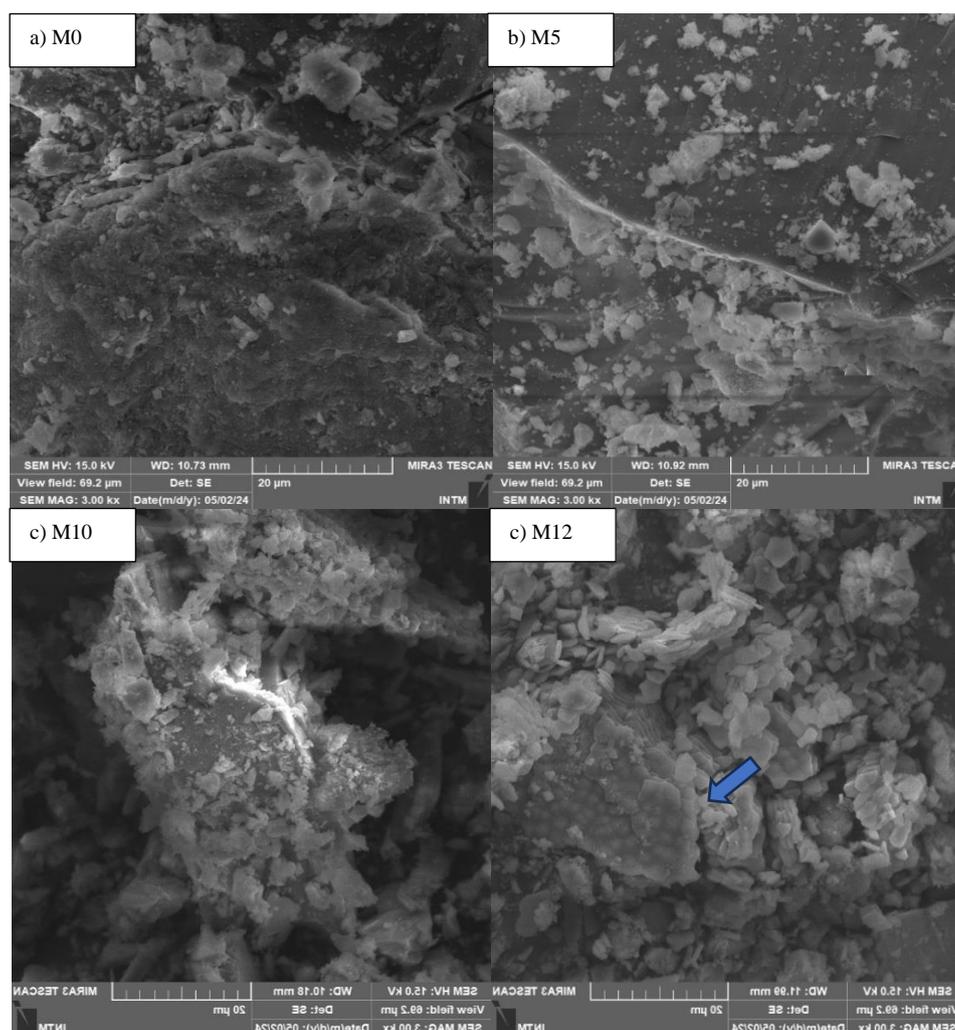
Figura 47 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) blocos produzidos em fábrica a) F0 e b) F5 c) F10 d) F12



Fonte: Autor.

As micrografias dos blocos produzidos manualmente revelaram uma maior concentração de resíduos do sururu no mesmo ponto. É possível notar que, na amostra M₁₂, há uma grande concentração das partículas da casca de sururu, o que é consequência da compactação manual, onde forças diferentes foram aplicadas nesta etapa. A figura 48, evidência esse acúmulo de partículas lamelares da concha do sururu.

Figura 48 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) blocos produzidos manualmente a) M₀; b) M₅ c) M₁₀ d) M₁₂



Fonte: Autor.

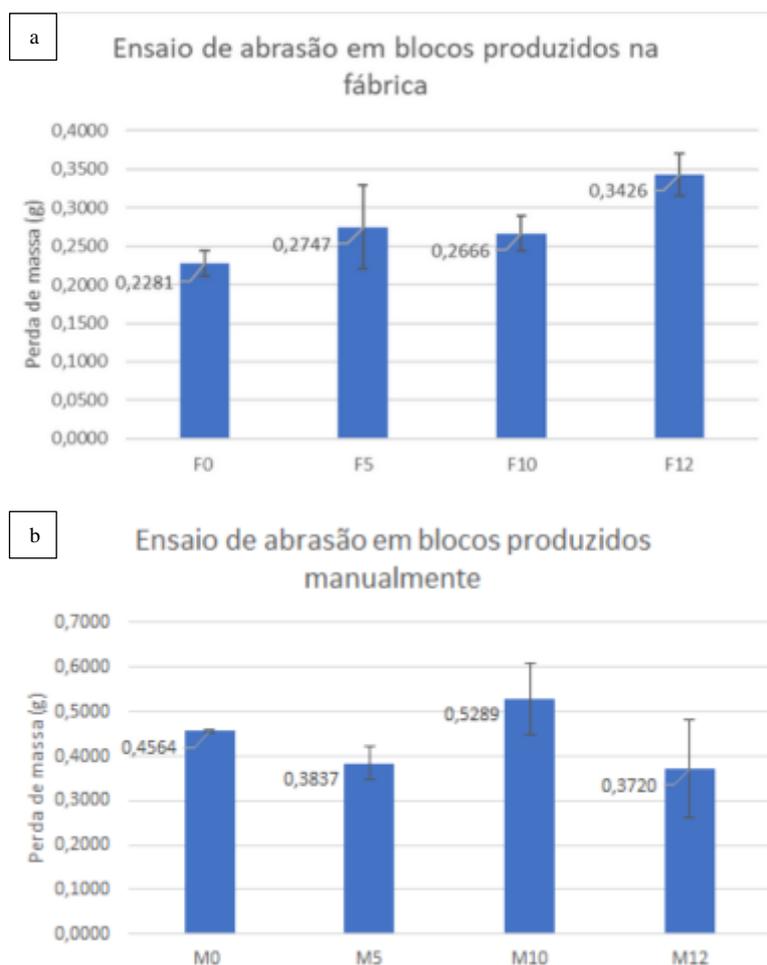
A presença de casca em camadas na amostra M₁₂ pode explicar o aspecto encontrado no bloco em toda produção com teor de 12% de substituição, em que os blocos ficaram mais ásperos tanto na sua face superficial, quanto na face interna. Essa característica torna a penetração de água mais fácil e, conseqüentemente, pode ser um fator relevante para a interpretação dos resultados de ensaios complementares.

4.2 Ensaio de Resistência à Abrasão

Após a realização do ensaio de abrasão, as amostras foram limpas e pesadas individualmente por uma balança de precisão, onde todos os resultados estão dispostos no Apêndice A e Apêndice B. A figura 49, apresenta o desgaste em gramas (g) e o desvio padrão de cada bloco e seu método produtivo.

A metodologia que mais adequada para o tipo de amostra foi a limpeza com jato de ar comprimido, seguida de lavagem ultrassônica e, posteriormente, secagem por um período de 48 horas, para, assim, realizar o processo de pesagem após o ensaio.

Figura 49 – Perda de massa após ensaio de abrasão a) Bloco produzido em fábrica
b) Bloco produzido manualmente



Fonte: Autor.

Parâmetros como a compactação não uniforme na produção manual não afetou significativamente nos resultados obtidos, visto que considerando o desvio padrão, as amostras com teor de sururu em sua composição, seguiram valores similares ao bloco com 0% de adição. Já as amostras produzidas em fábrica, apresentaram resultados mais similares ao bloco referência, onde a amostra com adição de RCS que menos sofreu desgaste foi a F₁₀ e a amostra que apresentou mais desgaste foi a F₁₂.

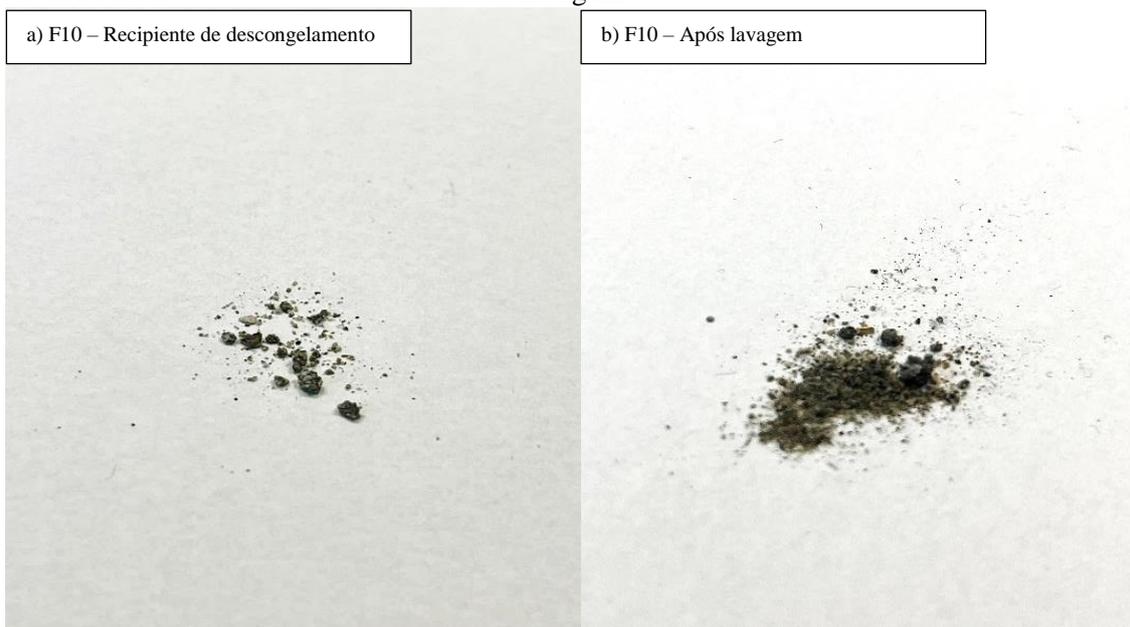
Portanto, nesse tipo de produção, apenas o bloco com teor de 12% não apresentou valores próximos ao bloco referência. Observando o padrão dos resultados em relação a amostra de referência, sem adição da casca, pode-se dizer que o desgaste devido a abrasão, não houve a influência significativa em relação a substituição parcial da casca de sururu beneficiada, no agregado miúdo para as produções dos blocos, tanto manual como na produção fabril.

4.3 Ensaio de Congelamento e Descongelamento

Durante os ciclos de congelamento e descongelamento, notou-se que após o ciclo de 7 e 28 dias, as amostras perdem mais resíduo no processo de lavagem em relação aos resíduos encontrados nos recipientes de congelamento e descongelamento.

Observa-se que essa tendência seguiu tanto para os blocos produzidos manualmente, como também os produzidos em larga escala. A maior quantidade de resíduos coletados pode ser observada na figura 50.

Figura 50 – Desplacamento de fragmentos a) Recipiente de congelamento b) Resíduo após lavagem



Fonte: Autor.

O quadro 24 mostra a perda de massa de cada bloco intertravado de concreto, após os ciclos de 7 e 28 dias em gramas por metro quadrado das amostras denominadas de número I de método de produção e sua respectiva proporção, onde foi possível notar que, as amostras produzidas manualmente sofreram menos impacto após 7 ciclos de congelamento e descongelamento, com exceção da amostra com 12%, que apresentou resultados mais severos, as condições de temperatura.

O Apêndice C e Apêndice D apresenta as variações de temperatura e detalhes dos modos produtivos nos primeiros 7 ciclos. Nas amostras produzidas em processo fabril, é possível notar que a substituição parcial da areia pelo resíduo do sururu, não causou perdas significativas após 7 dias de ensaio, uma vez que a amostra com 10% apresentou o mesmo desgaste que a amostra sem a incorporação do resíduo do sururu.

Quadro 24 – Perda de massa após congelamento e descongelamento família I

Método	Família	Perda de massa após 7 ciclos (g)	Perda de massa após 7 ciclos (g/m ²)	Perda de massa após 28 ciclos (g)	Perda de massa após 28 ciclos (g/m ²)
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	F0 (I)	0,21	2,7632	0,39	5,1316
	F5 (I)	0,16	2,1053	0,25	3,2895
	F10 (I)	0,21	2,7632	0,39	5,1316
	F12 (I)	0,14	1,8421	0,28	3,6842
Manual Vasconcelos (2022)	M0 (I)	0,02	0,2632	0,03	0,3948
	M5 (I)	0,06	0,7895	0,09	1,1842
	M10 (I)	0,05	0,6579	0,07	0,9211
	M12 (I)	0,82	10,7895	1,27	16,7106

Fonte: Autor.

Após os 28 ciclos, é possível notar que a maior perda de massa está concentrada nos ciclos iniciais, onde, até o ciclo 7, as amostras sofreram maior desgaste. Para a obtenção de resultados consistentes, foram submetidas ao ensaio, amostras denominadas de II e III para cada família, com o objetivo de avaliar o impacto do processo de congelamento e degelo nos blocos intertravados de concreto. Os dados são apresentados no quadro 25 a seguir. As amostras produzidas manualmente, assim como no sétimo ciclo, continuaram com o mesmo comportamento após o vigésimo oitavo ciclo, repetindo a severidade sofrida pela amostra com 12% de resíduo de sururu incorporado. Nenhuma das amostras perdeu mais do que 225g/m² de massa média, o que permitiu que o ensaio fosse finalizado no ciclo de número 28. No Apêndice E e Apêndice F, estão elencadas as temperaturas durante o ensaio e observações relevantes para cada ciclo.

Quadro 25 – Perda de massa após congelamento e descongelamento famílias II e III

Método	Família	Perda de massa após 7 ciclos (g)	Perda de massa após 7 ciclos (g/m ²)	Perda de massa após 28 ciclos (g)	Perda de massa após 28 ciclos (g/m ²)
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	F0 (II)	0,38	5	0,62	8,1579
	F0 (III)	0,27	3,5527	0,34	4,4737
	F5 (II)	0,38	5	0,46	6,0527
	F5 (III)	1,19	15,6579	1,23	16,1842
	F10 (II)	0,72	9,4737	0,78	10,2632
	F10 (III)	0,71	9,3421	0,82	10,7895
	F12 (II)	0,38	5	0,45	5,9211
	F12 (III)	0,33	4,3421	0,38	5
Fábrica Pedrosa Júnior (2022)	M0 (II)	0,02	0,2632	0,04	0,5263
	M0 (III)	0,07	0,9211	0,11	1,4474
	M5 (II)	0,07	0,9211	0,10	1,3157
	M5 (III)	0,06	0,7895	0,08	1,0527
	M10 (II)	0,03	0,3948	0,05	0,6579
	M10 (III)	0,06	0,7895	0,10	1,3157
	M12 (II)	0,32	4,2106	0,57	7,5
	M12 (III)	0,50	6,5790	0,62	8,1579

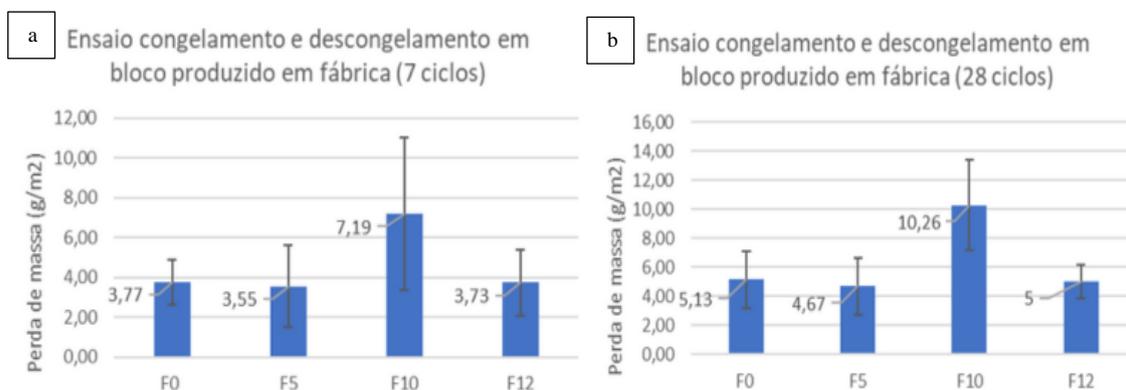
Fonte: Autor.

Ao final do ensaio de congelamento e descongelamento, das amostras II e III de cada família, pôde-se observar um comportamento de desgaste mais severo nos primeiros 7 ciclos de congelamento e degelo. Analisando os dados coletados para a produção dos blocos em fábrica, a amostra F5 (III) pode ser considerada como um outlier, pois as duas amostras pertencentes à mesma família e método produtivo, seguiram um padrão de menor desgaste.

No que diz respeito à produção manual, o único dado que se sobressaiu em relação aos outros componentes da família foi o M12 (I), que apresentou resultados duas vezes superiores aos outros. As figuras 51 e 52 apresentam os resultados de média de desgaste e desvio padrão, havendo a desconsideração dos outliers.

Figura 51 – Média e desvio padrão da perda de massa em 7 e 28 ciclos produção fabril

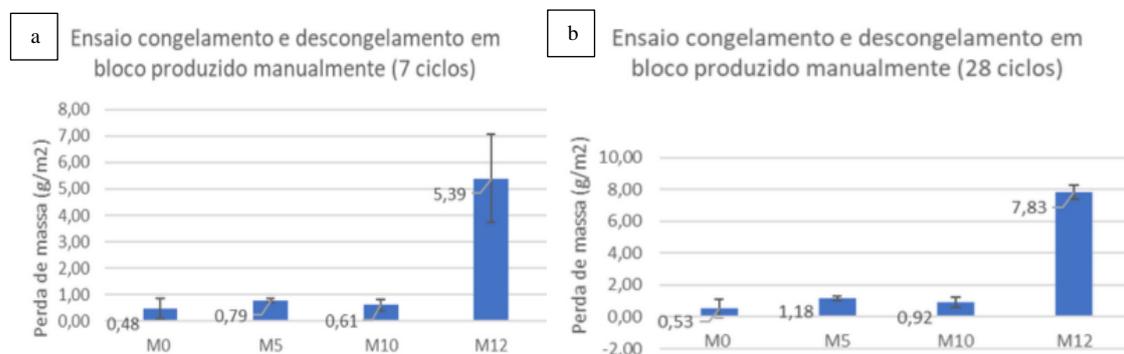
a) Após 7 ciclos b) Após 28 ciclos



Fonte: Autor.

Figura 52 – Média e desvio padrão da perda de massa em 7 e 28 ciclos produção manual

a) Após 7 ciclos b) Após 28 ciclos

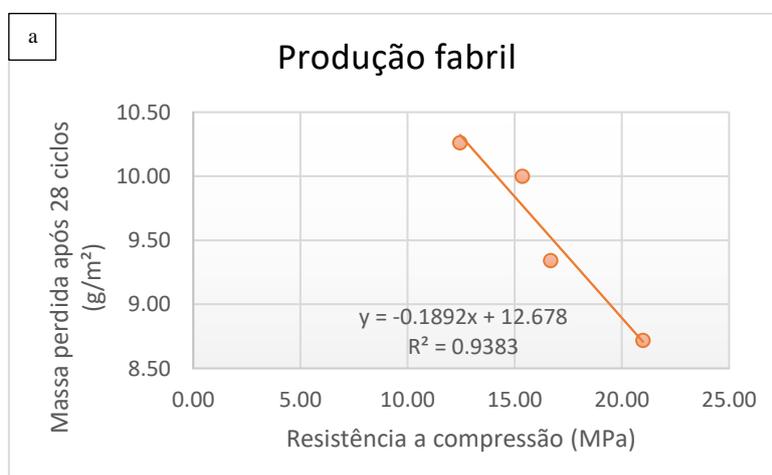


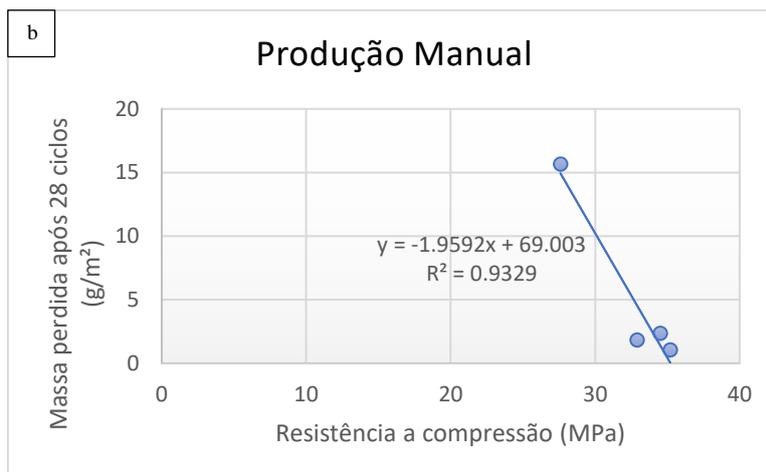
Fonte: Autor.

Analisando os dados encontrados, os blocos com a incorporação de casca de sururu, em relação ao bloco de referência, sem adição do resíduo beneficiado, apenas a amostra M12 apresenta um resultado bem distante do bloco usual. Contudo, baseado na norma ASTM C1645-21 (2022), o desgaste pode ser considerado brando, pois nenhuma amostra ultrapassou a marca de 225g/m² de massa média perdida após o vigésimo oitavo ciclo. Analisando separadamente cada método de produção, é possível traçar uma relação entre o nível de desgaste de cada bloco após o ensaio de congelamento e degelo, com os dados de resistência à compressão.

A fim de analisar a influência dos resultados de resistência à compressão e de perda de massa no ensaio de congelamento e descongelamento, na figura 53, é possível analisar os dois parâmetros.

Figura 53 – Relação entre nível de desgaste do ensaio de congelamento e descongelamento em comparação a resistência à compressão a) produção fabril b) produção manual





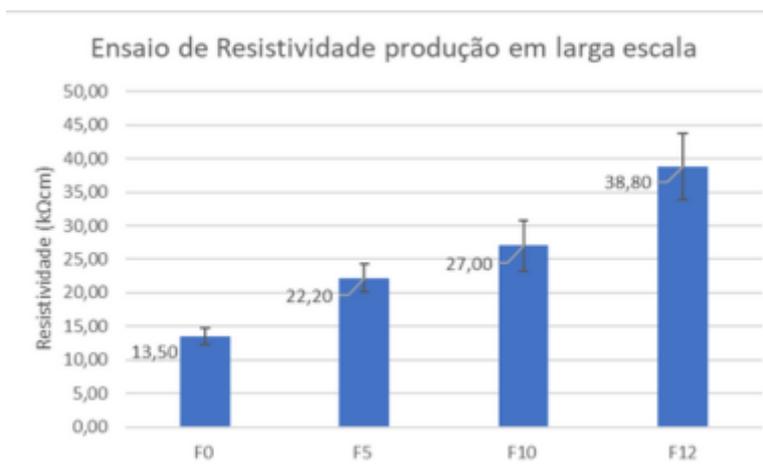
Fonte: Autor.

Ao analisar cada método de produção separadamente, é possível estabelecer uma relação entre o nível de desgaste de cada bloco após o ensaio de congelamento e degelo e a resistência à compressão. Nos dois métodos produtivos, é possível notar uma correlação direta entre os índices de resistência à compressão e resistência a perda de massa após ensaio de congelamento e degelo, uma vez que, quanto maior a resistência à compressão, menor é a perda de massa.

4.4 Ensaio de Resistividade

O ensaio de resistividade permitiu verificar o quão suscetível as amostras produzidas manualmente e em larga escala, são a passagem de corrente elétrica. Este índice de resistividade conforme a norma ASTM C1876-24 (2024), permite fornecer uma indicação rápida de sua resistência à penetração de íons de cloreto e resistência a penetração de outros fluidos. A medição com o aparelho de teste com a sonda Wenner realizou medições em kΩcm. Com o objetivo de entender o comportamento das amostras com adição de resíduo da concha de sururu beneficiado, as figuras 54 e 55 apresentam a medição dos resultados da resistividade da face externa e da face interna dos blocos produzidos em larga escala e manualmente respectivamente. As medições de resistividade estão disponíveis nos Apêndice G e Apêndice H.

Figura 54 – Média e desvio padrão da resistividade do bloco produzido em larga escala



Fonte: Autor.

Figura 55 – Média e desvio padrão da resistividade do bloco produzido manualmente



Fonte: Autor.

Os resultados obtidos tanto na produção manual, quanto na produção em larga escala, mostram que, ao adicionar o resíduo da casca do sururu beneficiado em substituição parcial à areia, sua resistividade aumenta, o que, geralmente significa que será mais difícil para os cloretos ou sulfatos penetrarem no concreto. A inclusão de conchas do sururu pode afetar a conectividade e a tortuosidade das estruturas dos poros, dificultando a passagem de corrente, uma vez que a microestrutura dos poros pode estar apresentada de forma desconforme, o que foi demonstrado nos resultados da amostra produzida manualmente, com 12%.

4.5 Discussão

As tabelas 2 e 3 apresentam resultados gerais dos blocos produzidos em larga escala e dos blocos produzidos manualmente em etapas padrão para os métodos de produção, onde seus elementos constituintes e ensaios em condições análogas. Os ensaios de resistência à absorção de água e resistência à compressão seguiram as especificações normativas nacionais e internacionais. Já os de resistividade e resistência à abrasão e congelamento e descongelamento, utilizaram o bloco com 0% de adição de casca de sururu como referência para a análise. Os dados representados pela cor verde indicam que atenderam às especificações da norma ou ao bloco de referência. Já os representados pela cor vermelha apresentam dados que não são satisfatórios. Os testes não tiveram como objetivo comparar a eficiência do método produtivo, mas sim compreender os elementos constituintes e analisar os dados para adotar as melhores proporções, cimentos e aspectos produtivos que possam contribuir com a durabilidade dos blocos intertravados de concreto e propor a produção desses blocos como uma opção de novos materiais para a construção civil.

Tabela 2 – Resultados do estudo para blocos produzidos em larga escala

Blocos	Ensaio em blocos produzidos em larga escala				
	Compressão	Absorção de Água	Abrasão	Congelamento e descongelamento	Resistividade
F0	12,45 Mpa ± 6,94 Mpa AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias e Estacionamentos)	7%	0,2281g ± 0,02g	5,13 g/m ² ± 1,96 g/m ²	13,50 kΩcm ± 1,22 kΩcm
F5	16,67 Mpa ± 5,66 Mpa AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias e Estacionamentos)	6,92%	0,2747g ± 0,05g	4,67 g/m ² ± 1,95 g/m ²	22,20 kΩcm ± 2,03 kΩcm
F10	20,98 Mpa ± 2,97 Mpa AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias e Estacionamentos)	6,23% SANS 1058 - África do Sul	0,2666g ± 0,02g	10,26 g/m ² ± 3,13 g/m ²	27,00 kΩcm ± 3,78 kΩcm
F12	15,36 Mpa ± 3,32 Mpa AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias e Estacionamentos)	5,19% NBR 9781 - Brasil; SANS 1058 - África do Sul	0,3426g ± 0,03g	5,00 g/m ² ± 1,12 g/m ²	38,80 kΩcm ± 4,87 kΩcm
NLFR	27,61 Mpa ± 3,57 Mpa SANS 1058 - África do Sul (Tráfego Leve); AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias, Estacionamentos e Tráfego Leve)	4,38% NBR 9781 - Brasil; SANS 1058 - África do Sul; ASTM C936 - Estados Unidos	Não testado	Não testado	Não testado

Fonte: Autor.

A família com teor de 0% da nova linha de produção, não foram disponibilizados para a realização dos ensaios complementares de durabilidade.

Tabela 3 – Resultados do estudo para blocos produzidos manualmente

Blocos	Ensaio em blocos produzidos manualmente				
	Compressão	Absorção de Água	Abrasão	Congelamento e descongelamento	Resistividade
M0	35,2 Mpa \pm 4,5 Mpa NBR 9781 - Brasil (Tráfego leve); SANS 1058 - África do Sul (Tráfego Leve e Pesado); AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias, Estacionamento e Tráfego Leve)	6,57%	0,4564g \pm 0,003g	0,53 g/m ² \pm 0,57 g/m ²	9,10 k Ω cm \pm 1,49 k Ω cm
M5	34,5 Mpa \pm 2,1 Mpa NBR 9781 - Brasil (Tráfego leve); SANS 1058 - África do Sul (Tráfego Leve e Pesado); AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias, Estacionamento e Tráfego Leve)	6,24% SANS 1058 - África do Sul	0,3837g \pm 0,04g	1,18 g/m ² \pm 0,13 g/m ²	28,90 k Ω cm \pm 1,83 k Ω cm
M10	32,9 Mpa \pm 3,2 Mpa NBR 9781 - Brasil (Tráfego leve); SANS 1058 - África do Sul (Tráfego Leve e Pesado); AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias, Estacionamento e Tráfego Leve)	7,02%	0,5289g \pm 0,08g	0,92 g/m ² \pm 0,33 g/m ²	46,70 k Ω cm \pm 3,91 k Ω cm
M12	27,6 Mpa \pm 4,2 Mpa SANS 1058 - África do Sul (Tráfego Leve); AS/NZS 4456.4 - Austrália (Ciclovias, Estacionamento e Tráfego Leve)	6,21% SANS 1058 - África do Sul	0,3720g \pm 0,11g	7,83 g/m ² \pm 0,47 g/m ²	17,40 k Ω cm \pm 2,60 k Ω cm

Para a produção em larga escala, os blocos alcançaram resultados satisfatórios para o índice de resistência à compressão que atenderam apenas a norma australiana, que permite a aplicação em ciclovias e estacionamento. A partir destes dados coletados, foi observado um aumento da resistência com o acréscimo da quantidade de casca de sururu na composição no ensaio de resistência à compressão em relação ao bloco com teor de 0% de adição do RCS, no qual um bloco denominado de NLFr, foi produzido para verificar se houve alguma falha no controle na fabricação. Dito isso, além de atender a norma sul-africana, o novo bloco produzido, atendeu o especificado pela norma australiana para ciclovias, estacionamento e tráfego leve. O mesmo foi observado ao índice de absorção

de água, pois o bloco NLF_R, também atingiu valores melhores que a primeira produção com teor de 0% de adição do resíduo do sururu, atendendo as normas brasileira, sul-africana e a americana, levando a suspeitar que os processos adotados anteriormente, não seguiram etapas de controle de qualidade mais rigorosa, tanto no cimento utilizado, como também as proporções dos componentes dos blocos.

No ensaio de resistência à abrasão, os blocos com teor de até 10% de substituição, apresentaram valores semelhantes ao bloco de referência, indicando que até esta proporção, não prejudicaria o desempenho em termos de abrasão. Já para resultados do ensaio de exposição a condições de grande variação de temperatura no ensaio de congelamento e descongelamento, os blocos F₅ e F₁₂ foram os blocos com desempenho mais próximo do bloco referência. O bloco F₁₀ sofreu um desgaste duas vezes maior do que o bloco referência, fato este, que pode ter sofrido impacto no controle de produção em larga escala, visto que as outras proporções se comportaram bem devido às variações de temperatura. Observando os parâmetros adotados pela norma de durabilidade mediante a esforços de congelamento e descongelamento, o bloco com 10% que sofreu mais desgaste, obteve valores discrepantes do admitido pela norma onde este teor sofreu 21 vezes menos impacto do que o admitido, não havendo necessidade de continuação do ensaio após o ciclo 28.

Em termos de resistividade, os blocos resultantes da substituição parcial da areia por casca de sururu beneficiada apresentaram valores superiores aos apresentados na amostra de referência, o que indica que os blocos com o resíduo do sururu apresentam uma menor probabilidade de sofrer desgaste por ataque de cloretos, o que é relevante para futuras pesquisas na incorporação dos resíduos da concha de sururu, a fim aumentar a durabilidade de estruturas de concreto armado.

Em geral, as amostras mais adequadas para atender às exigências de resistência à compressão, absorção de água e resistência à abrasão foram aquelas com um teor de substituição de até 10%. Os blocos demonstraram comportamento satisfatório em todas as suas proporções de substituição quando submetidos a baixas temperaturas, o que pode ser aplicado em regiões que sofrem com invernos mais rigorosos. Dessa forma, o resíduo da casca de sururu pode ser usado na construção civil, atendendo à demanda mundial de reutilização de resíduos e impactando menos o meio ambiente, além de gerar renda para

os moradores da comunidade pesqueira Ilha de Deus, destinando os resíduos para a linha de produção e tornando o ambiente mais agradável para se viver.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, as considerações finais estão divididas em conclusões e recomendações para trabalhos futuros, apresentados nas seções a seguir.

5.1 Conclusões

Após a interpretação dos dados adquiridos ao longo dos ensaios realizados conforme as normas regulamentadoras (disponível no quadro 1), foi possível chegar a algumas conclusões:

- Os resultados obtidos no ensaio de resistividade são extremamente relevantes para uma análise mais aprofundada da incorporação do resíduo da casca de sururu ao concreto, uma vez que este material pode contribuir para uma maior vida útil da armadura, quando adicionado ao concreto para a aplicação em estruturas de concreto armado;
- Notou-se que o comportamento da resistência a compressão, está diretamente relacionado a resistência ao congelamento e descongelamento;
- A análise óptica por microscopia eletrônica de varredura, deve ser realizada com fragmentos íntegros, a fim de uma melhor visualização dos materiais e uma caracterização eficaz;
- A adição de aditivos hidro-repelentes, tende a diminuir a absorção de água, melhorando os índices encontrados e atendendo a um maior número de normas nacionais e internacionais;
- Em geral, as amostras mais adequadas que atendem aos requisitos de resistência à compressão, absorção de água, resistência à abrasão, resistividade, congelamento e descongelamento foram aquelas com teor de substituição de até 10%;

- Os blocos atendem às exigências de durabilidade, seguindo as normas, o que torna a utilização do resíduo da casca de sururu como substituto parcial do agregado miúdo na produção de novos materiais da construção civil, o que não só atende às necessidades da indústria da construção, mas também gera renda para os moradores da comunidade pesqueira da Ilha de Deus, destinando os resíduos na linha de produção de novos materiais, atendendo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6,9,11,12,14 e 15, tornando o ambiente mais agradável para se viver.

5.2 Recomendações a trabalhos futuros

Os ensaios de durabilidade permitem monitorar e compreender o comportamento do material usado na substituição parcial da areia na produção de blocos intertravados de concreto. Além da interação, sem sofrer desgastes significativos, é possível identificar a proporção que mais se adequa às normas regulamentadoras, permitindo atestar as características de durabilidade, e possibilitar a criação de novos materiais da construção civil, atendendo à pauta ambiental.

Aumentar a quantidade de ensaios, como a resistência a ataque de ácido, pois é um ensaio extremamente importante para reforçar o comportamento da casca de sururu na produção de blocos intertravados de concreto a fim de utilizá-los em áreas específicas. Essas análises não foram possíveis devido à limitação de tempo hábil para ampliação da gama de ensaios, pois o ensaio de congelamento e descongelamento, pela ausência de um freezer horizontal para uso laboratorial na Universidade de Pernambuco, levou a adaptação de uma cervejeira de uso residencial, no qual o ensaio completo, teve uma duração de 4 meses, para realização dos 28 ciclos nas 24 amostras, pois além da adaptação de temperatura, necessitou a aquisição de novas prateleiras internas e um período de controle das condições de controle de temperatura externa e interna da câmara fria. Após as adaptações e análise das condições térmicas, 8 blocos foram a disposição ideal para maximizar o ensaio de congelamento e descongelamento.

Essas análises podem ser ampliadas, permitindo um melhor entendimento do comportamento do composto cimentício, o que pode orientar a incorporação do resíduo do sururu na composição do cimento, na substituição do agregado graúdo e na composição para a produção de argamassas de assentamento e revestimento.

Além disso, é crucial analisar a inclusão de aditivos na composição dos blocos, que possam potencializar os resultados dos ensaios. Uma das questões que deve ser levada em conta é a influência do cimento usado na fabricação dos blocos, tanto na produção manual, quanto na produção em larga escala, para identificar a melhor escolha que atenda aos critérios de durabilidade, mas também aos custos, de forma que seja possível uma padronização e disseminação da metodologia, o que permitirá a criação de um template para a substituição de outros materiais que apresentam tanto características semelhantes às da casca de sururu, quanto a interação de materiais diferentes. Isso pode resultar em resultados satisfatórios em termos de conformidade com as normas vigentes, mas também em uma proporção que possa estar em sintonia com um menor impacto ambiental, tanto pela destinação de novos resíduos que não tinham utilidade, lançados ao ar livre, quanto pela redução da extração de materiais oriundos do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ACI, I.C. “American Concrete Institute. **ACI SP-66:ACI Detailing Manual**, v.2, 1904.

AHSAN, Muhammad Hamza; SIDDIQUE, Muhammad Shahid; FAROOQ, Syed Hassan; USMAN, Muhammad; ALEEM, Muhammad Ashar Ul; HUSSAIN, Manzoor; Hanif, Asad. Mechanical behavior of high-strength concrete incorporating seashell powder at elevated temperatures. **Journal of Building Engineering**, v. 50, p. 104226, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: AGREGADOS PARA CONCRETO- Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: CIMENTO PORTLAND: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: – Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto — Execução. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16137**: Ensaio não destrutivo - Identificação de materiais por teste por pontos, espectrometria por fluorescência de raios X e espectrometria por emissão óptica Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 14**: Cimento Portland - Análise química - Método de arbitragem para determinação de dióxido de silício, óxido férrico, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido de magnésio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 15**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 16**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 18**: Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: AGREGADOS – Determinação da massa unitária e dos espaços vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

ASTM G65-00, 2021. **Standard Test method for measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus**. Annual Book of ASTM Standards Volume 03.2, ASTM, Philadelphia, PA, pp. 247-259.

BAHADORI, Hamid Reza; HEDAYAT Amir AHMAD; KARBAKHSH Ali; MOHAMMADIZADEH, Mohsen. Effects of Seashell and Lumashell powders on the elevated temperature compressive strength and durability of shell-based concretes. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 8, n. 7, p. 199, 2023.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 558 p.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS:ABEDA, 2006.

BRASILEIRO, Luzana Leite; MATOS, José Milton Elias de. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*. 2015. 178-189p. 2015.

CAETANO, Juliana Argente.; SCHALCH, Valdir; PABLOS, Javier Mazariegos. Characterization and recycling of the fine fraction of automotive shredder residue (ASR) for concrete paving blocks production. **Clean Technologies and Environmental Policy**. 835-847p. 2020.

CARDOSO, Ariane da Silva. **Avaliação do comportamento de compósitos cimentícios produzidos com conchas de sururu**. Universidade de Pernambuco, Recife, 2019. 120p. Dissertação Mestrado.

CARDOSO, Ariane da Silva; KOHLMAN RABBANI, Emilia Rahnemay; SILVA, Alison Lopes da; SÁ, Matheus Karryery Coelho Rodrigues Gonçalves de; MONTEIRO, Eliana Barreto; SHAKOURI, Mahmoud. Evaluating Sururu shell waste (*Mytella falcata*) as an eco-friendly recycled aggregate in mortar production. **Frontiers in Built Environment**, v. 10, p. 1381169, 2024.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 281 p. 2003 Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Roma, Itália, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>. Acesso em: 05 jul. 2023.

FIGUEIREDO NETO, João José de. **Projeto, construção e montagem de um abrasômetro roda de borracha na configuração horizontal e vertical**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017, 90p. Dissertação de Mestrado.

FIORITI, Cesar. Fabiano.; INO, Akemi.; AKASAKI, Jorge Luís; **Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus**. *Acta Scientiarum-technology*. Maringá v. 32, n. 3, p. 237-244, 2010.

HALLACK, Abdo. “Pavimento intertravado: uma solução universal. **Revista Prisma**, v.1, n.1, p. 25-27, 2001.

JÚNIOR, Ary; JOSÉ, Ivan. Pavimento intertravado como ferramenta de moderação do tráfego nos centros comerciais de travessias urbanas-estudo de caso Guaiúba, CE. 2007.

MO, Kim Hung; ALENGARAM, U. Johnson; JUMAAT, Mohd Zamin; LEE, Siew Cheng; GOH, Wan Inn; YUEN, Choon Wah. Recycling of seashell waste in concrete: A review. **Construction and Building Materials**, v. 162, p. 751-764, 2018.

PATIL. Ashwini R.; SATHE, Sheetal. B. Feasibility of sustainable construction materials for concrete paving blocks: A review on waste foundry sand and other materials. **Materials Today: Proceedings** 43. 1552-1561p. 2021.

PEDROSA JÚNIOR, Marcionillo Carvalho. **Utilização de resíduo de concha de sururu da comunidade pesqueira Ilha de Deus em substituição Parcial à areia na fabricação de peças de piso Intertravado**. Universidade de Pernambuco, Recife, 2022. 83p. Dissertação Mestrado.

KHANKHAJE, Elnaz; RAFIEIZONOOZ, Mahdi; MIRZA, Jahangir. Characteristics of Pervious Concrete Incorporating Cockleshell as Coarse Aggregate for Pavements. **Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements**, v. 148, n. 2, p. 04022026, 2022.

SANTOS, André Luiz Sampaio Fonseca dos. **Análise da viabilidade técnica da substituição parcial do cimento na argamassa pelo pó da casca de sururu beneficiada** 2019. 61 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade de Pernambuco, Recife, 2019.

SAUNIER, B; DOLFUS, C; GEFFROY, G. **Historie de la locomotion terrestre**. V. 2, Paris: L'illustration, 1936.

SCHUMACHER, Helena Ravache Samy Pereira. **Caracterização do concreto convencional com pó de pedra em substituição parcial a areia natural**. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ciência e Engenharia dos Materiais, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Joinville 2007.

SILVA, Betolvem Cristhian Lúcio da. **Avaliação de piso intertravado de concreto de cimento Portland branco pigmentado com resíduos de borracha**. 2019. 1 recurso online (121 p.). Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia, Limeira, SP.

SMITH, David R. “Grand Entrances”, *Interlocking Concrete Pavement Magazine*, v. 10, n.2 p.4, 2003.

Standards Australia. **AS/NZS 4456.4**: Masonry units and segmental pavers and flags – Methods of test – Determining compressive strength of masonry units, 2003

TAYEH, Bassam A.; HASANIYAH Mohammed W.; ZEYAD, Abdullah M.; AWAD, Mohanad M.; ALASKAR, Abdulaziz; MOHAMED, Abdeliazim Mustafa; ALYOUSEF, Rayed. Durability and mechanical Properties of seashell partially-replaced cement. **Journal of Building Engineering**, v. 31, p. 101328, 2020.

VASCONCELOS, Caio Victor Souza Abreu de. **Avaliação do comportamento mecânico de blocos de pavimentos intertravados produzidos com resíduos de concha de sururu**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco, Recife, 2022.

VASCONCELOS, Caio Victor Souza Abreu de. **Reologia de concretos autoadensáveis utilizando o reômetro ICAR**. 2019. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

APÊNDICE A – Ensaio de Abrasão em amostras da produção fabril

AMOSTRA F0			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
1	67,5783	67,7463	68,5419
2	67,5776	67,7461	68,5412
3	67,5761	67,7451	68,5409
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	67,5773	67,7458	68,5413
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
1	67,3305	67,5282	68,3222
2	67,3301	67,5279	68,322
3	67,3299	67,5279	68,3222
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	67,3302	67,5280	68,3221
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,2472	0,2178	0,2192
MEDIA	0,2281		
DESVIO PADRÃO	0,0166		

AMOSTRA F5			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	66,9479	67,0997	66,5301
PESAGEM 02	66,9459	67,0848	66,5221
PESAGEM 03	66,9444	67,0772	66,518
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	66,9461	67,0872	66,5234
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	66,6873	66,7545	66,2957
PESAGEM 02	66,6860	66,7526	66,293
PESAGEM 03	66,6858	66,7511	66,292
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	66,6864	66,7527	66,2936
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,2597	0,3345	0,2298
MEDIA	0,2747		
DESVIO PADRÃO	0,0539		

AMOSTRA F10			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	66,5648	67,9296	67,2852
PESAGEM 02	66,5635	67,9287	67,2842
PESAGEM 03	66,5624	67,9278	67,2824
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	66,5636	67,9287	67,2839
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	66,2789	67,6871	67,0123
PESAGEM 02	66,2779	67,6866	67,0116
PESAGEM 03	66,2772	67,6863	67,0117
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	66,2780	67,6867	67,0119
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,2856	0,2420	0,2721
MEDIA	0,2666		
DESVIO PADRÃO	0,0223		

AMOSTRA F12			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	64,7885	65,1641	66,2669
PESAGEM 02	64,7876	65,1634	66,2653
PESAGEM 03	64,7868	65,1620	66,2644
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	64,7876	65,1632	66,2655
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	64,4222	64,8134	65,9537
PESAGEM 02	64,4220	64,8135	65,9535
PESAGEM 03	64,4219	64,8128	65,9530
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	64,4220	64,8132	65,9534
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,3656	0,3499	0,3121
MEDIA	0,3426		
DESVIO PADRÃO	0,0275		

APÊNDICE B – Ensaio de Abrasão em amostras da produção manual

AMOSTRA M0			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
1	68,8423	67,0126	68,0107
2	68,8416	67,0126	68,0105
3	68,8412	67,0124	68,0096
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	68,8417	67,0125	68,0103
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
1	68,3864	66,5527	67,5580
2	68,3859	66,5522	67,5574
3	68,3851	66,5519	67,5566
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	68,3858	66,5523	67,5573
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,4559	0,4603	0,4529
MEDIA	0,4564		
DESVIO PADRÃO	0,0037		

AMOSTRA M5			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	66,9578	68,8158	67,9754
PESAGEM 02	66,9568	68,8151	67,9744
PESAGEM 03	66,9556	68,8141	67,9732
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	66,9567	68,8150	67,9743
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	66,6002	68,4476	67,5486
PESAGEM 02	66,6003	68,4472	67,5476
PESAGEM 03	66,5994	68,4463	67,5474
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	66,6000	68,4470	67,5479
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,3568	0,3680	0,4265
MEDIA	0,3837		
DESVIO PADRÃO	0,0374		

AMOSTRA M10			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	65,1697	65,1868	65,5061
PESAGEM 02	65,1678	65,1864	65,5051
PESAGEM 03	65,1672	65,1855	65,5038
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	65,1682	65,1862	65,5050
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	64,6144	64,7464	64,9142
PESAGEM 02	64,6133	64,7460	64,9132
PESAGEM 03	64,6127	64,7455	64,9130
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	64,6135	64,7460	64,9135
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,5548	0,4403	0,5915
MEDIA	0,5289		
DESVIO PADRÃO	0,0789		

AMOSTRA M12			
AMOSTRA ANTES DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	65,091	64,3085	66,8201
PESAGEM 02	65,09	64,3073	66,819
PESAGEM 03	65,0881	64,3061	66,8188
MEDIA ANTES DO TESTE (G)	65,0897	64,3073	66,8193
AMOSTRA DEPOIS DO TESTE	AMOSTRA 01	AMOSTRA 02	AMOSTRA 03
PESAGEM 01	64,6929	63,841	66,5684
PESAGEM 02	64,6926	63,8403	66,5672
PESAGEM 03	64,692	63,8401	66,5666
MEDIA DEPOIS DO TESTE (G)	64,6925	63,8405	66,5674
VARIAÇÃO MEDIA (MEDIA ANTES - MEDIA DEPOIS)	0,3972	0,4668	0,2519
MEDIA	0,3720		
DESVIO PADRÃO	0,1097		

APÊNDICE C – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos manualmente (I)

Ciclos do ensaio de congelamento e descongelamento	Temperatura da câmara fria antes do ensaio de congelamento (°C)	Varição de temperatura durante o congelamento (°C)	Varição de temperatura durante o descongelamento (°C)	Observações
1	-4,3 °C	(-2,1 a -4,2) °C	(21,3 a 21,9) °C	Devido a umidade dos blocos, na 1ª hora formou gelo no recipiente de coleta de resíduos da amostra 12,5%. Foi notado o surgimento de lascas nos recipientes dos blocos M10 e M12.
2	- 3,3 °C	(-2,0 a -4,8) °C	(20,8 a 21,7) °C	A umidade deixou de estar presente, havendo o clareamento. Houve o aumento na quantidade de lascas da amostra M12.
3	- 2,8 °C	(-2,8 a -4,8) °C	(18,6 a 20,5) °C	Aumento de lascas no recipiente de congelamento e descongelamento do bloco M12.
4	- 1,8 °C	(-2,1 a -4,0) °C	(20,4 a 22,3) °C	Aumento de lascas no recipiente de congelamento e descongelamento do bloco M12.
5	- 0,8 °C	(-2,3 a -5,0) °C	(20,8 a 22,2) °C	-
6	- 0,4 °C	(-2,3 a -3,5) °C	(19,8 a 22,2) °C	Aumento de lascas no recipiente de congelamento e descongelamento do bloco M12.
7	- 0,9 °C	(-1,6 a -2,9) °C	(19,9 a 20,3) °C	A câmara fria, demorou 1 hora para estabilizar a temperatura aceitável para realização do ensaio, pois foi inserido a partir do ciclo 7, as amostras produzidas em larga escala.
8	- 1,2 °C	(-0,4 a -3,7) °C	(22,5 a 26,8) °C	Houve uma diminuição da umidade da base do bloco até o corpo, mas o topo ainda permaneceu úmido.
9	- 4,2 °C	(-0,3 a -5,0) °C	(26,9 a 29,8) °C	-
10	- 1,0 °C	(-1,7 a -3,9) °C	(26,3 a 27,8) °C	Faltou energia às 5:14 da manhã, mas os blocos estavam concluindo o ciclo de descongelamento
11	- 2,5 °C	(-0,4 a -4,0) °C	(26,9 a 29,3) °C	Acumulo de lascas no recipiente do bloco M12.
12	5,0 °C	(-0,7 a -2,4) °C	(26,1 a 28,8) °C	Houve uma demora maior para equilibrar a temperatura (± 2 horas para estabilizar)
13	-2,2 °C	(-0,9 a -6,9) °C	(26,1 a 27,2) °C	-
14	0,5 °C	(-1,2 a -4,9) °C	(27,3 a 29) °C	Surgimento de lasca de maior grão no recipiente de descongelamento M12.
15	-3,9 °C	(0,8 a -5,4) °C	(27,9 a 29,5) °C	-
16	-3,6 °C	(0,9 a -3,9) °C	(25,2 a 28,2) °C	-
17	-3,4 °C	(0,1 a -5,2) °C	(27,3 a 27,6) °C	-

18	-2,4 °C	(-1,3 a -2,2) °C	(27,3 a 27,8) °C	Aumento de lascas da amostra M12 no recipiente de descongelamento
19	-0,9 °C	(-1,4 a -5,8) °C	(26,2 a 27,3) °C	Aumento de lascas da amostra M12 no recipiente de congelamento e descongelamento
20	1,3 °C	(-2,3 a -7,2) °C	(26,9 a 27,3) °C	Lasca de casca de sururu da amostra M12
21	-4,2 °C	(0,0 a -5,2) °C	(25,9 a 27,2) °C	-
22	-2,8 °C	(-0,2 a -5,9) °C	(25,6 a 27,1) °C	A amostra M12 soltou lascas ao manusear da câmara fria até o recipiente de descongelamento. A amostra M5 teve aumento de lascas no recipiente de congelamento
23	-2,0 °C	(-3,2 a -5,4) °C	(26,6 a 26,9) °C	-
24	-4,3 °C	(-0,6 a -5,2) °C	(24,6 a 27) °C	-
25	-7,2 °C	(-1,6 a -6,2) °C	(26,7 a 26,8) °C	-
26	-4,1 °C	(-0,9 a -7,1) °C	(25,8 a 26,8) °C	Queda de energia às 20:28, onde a temperatura estava marcando -6,8°C e caiu rapidamente para -4,5°C num intervalo de 50 segundos, onde permaneceu estabilizado
27	-5,4 °C	(-0,8 a -6,9) °C	(26,8 a 27,5) °C	Lascas no recipiente de descongelamento da amostra M12
28	-1,4 °C	(-2,4 a -6,7) °C	(26,3 a 28,2) °C	A maior concentração de resíduo após a lavagem foi observada em ordem decrescente, nas amostras M12, M5, M10, MR. No recipiente de descongelamento seguiu a mesma tendência.

APÊNDICE D – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos na fábrica (I)

Ciclos do ensaio de congelamento e descongelamento	Temperatura da câmara fria antes do ensaio de congelamento (°C)	Variação de temperatura durante o congelamento (°C)	Variação de temperatura durante o descongelamento (°C)	Observações
1	- 0,9 °C	(-1,6 a -2,9) °C	(19,9 a 20,3) °C	A câmara fria, demorou 1 hora para estabilizar a temperatura aceitável para realização do ensaio, pois foi inserido a partir do ciclo 7, as amostras produzidas em larga escala.
2	- 1,2 °C	(-0,4 a -3,7) °C	(22,5 a 26,8) °C	A maior parte dos blocos permaneceram com umidade
3	- 4,2 °C	(-0,3 a -5,0) °C	(26,9 a 29,8) °C	Surgimento de lascas nas amostras F0, F5, F10, F12
4	- 1,0 °C	(-1,7 a -3,9) °C	(26,3 a 27,8) °C	Faltou energia às 5:14 da manhã, mas os blocos estavam concluindo o ciclo de descongelamento
5	- 2,5 °C	(-0,4 a -4,0) °C	(26,9 a 29,3) °C	Acumulo de lascas no recipiente de descongelamento F0, F5, F10, F12
6	5,0 °C	(-0,7 a -2,4) °C	(26,1 a 28,8) °C	Houve uma demora maior para equilibrar a temperatura (± 2 horas para estabilizar)
7	-2,2 °C	(-0,9 a -6,9) °C	(26,1 a 27,2) °C	-
8	0,5 °C	(-1,2 a -4,9) °C	(27,3 a 29) °C	Coleta de resíduos da produção em larga escala (peneiramento)
9	-3,9 °C	(0,8 a -5,4) °C	(27,9 a 29,5) °C	-
10	-3,6 °C	(0,9 a -3,9) °C	(25,2 a 28,2) °C	-
11	-3,4 °C	(0,1 a -5,2) °C	(27,3 a 27,6) °C	-
12	-2,4 °C	(-1,3 a -2,2) °C	(27,3 a 27,8) °C	-
13	-0,9 °C	(-1,4 a -5,8) °C	(26,2 a 27,3) °C	-
14	1,3 °C	(-2,3 a -7,2) °C	(26,9 a 27,3) °C	Aumento de lascas no recipiente da amostra F12
15	-4,2 °C	(0,0 a -5,2) °C	(25,9 a 27,2) °C	-
16	-2,8 °C	(-0,2 a -5,9) °C	(25,6 a 27,1) °C	Aumento de lascas no recipiente de descongelamento das amostras F10 e F12
17	-2,0 °C	(-3,2 a -5,4) °C	(26,6 a 26,9) °C	-
18	-4,3 °C	(-0,6 a -5,2) °C	(24,6 a 27) °C	-
19	-7,2 °C	(-1,6 a -6,2) °C	(26,7 a 26,8) °C	-
20	-4,1 °C	(-0,9 a -7,1) °C	(25,8 a 26,8) °C	Queda de energia às 20:28, onde a temperatura estava marcando -6,8°C e caiu rapidamente para -4,5°C num intervalo de 50 segundos, onde permaneceu estabilizado
21	-5,4 °C	(-0,8 a -6,9) °C	(26,8 a 27,5) °C	Lascas no recipiente de descongelamento das amostras F10 e F12
22	-1,4 °C	(-2,4 a -6,7) °C	(26,3 a 28,2) °C	-
23	-3,2 °C	(-0,6 a -5,6) °C	(26,8 a 27,1) °C	-
24	-3,8 °C	(-1,5 a -8,2) °C	(27,2 a 28,1) °C	As 9:38 a temperatura subiu para 12,5°C e precisou da

				ativação do modo Supercooler, onde a temperatura estabilizou as 10h em -2,8°C
25	3,7 °C	(-2,1 a -9,2) °C	(26,7 a 27) °C	-
26	-6,3 °C	(-1,2 a -7,4) °C	(26,1 a 27,2) °C	-
27	-2,8 °C	(-1,2 a -2,9) °C	(27,2 a 28,1) °C	-
28	-5,5 °C	(-0,7 a -6,1) °C	(26,9 a 27,3) °C	<p>Às 20:31 faltou energia e retornou com 50 segundos, onde a temperatura passou de -2,7 °C para -0,7°C. A temperatura estabilizou as 20:41 marcando -2,2 °C.</p> <p>No processo de lavagem, a amostra FR, soltou a maior lasca (parte inferior do bloco). Visualmente a amostra que mais soltou lascas na lavagem foi a F10</p>

APÊNDICE E – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos manualmente: 2 amostras de cada família (II e III)

Ciclos do ensaio de congelamento e descongelamento	Temperatura da câmara fria antes do ensaio de congelamento (°C)	Varição de temperatura durante o congelamento (°C)	Varição de temperatura durante o descongelamento (°C)	Observações
1	0,2 °C	(-0,6 a -4,7) °C	(24,1 a 27,1) °C	Ao retirar do recipiente de descongelamento notou-se que ainda os blocos estavam úmidos.
2	-1,3 °C	(-1,0 a -3) °C	(26,9 a 27,2) °C	-
3	1,2 °C	(-0,7 a -8,5) °C	(26,7 a 27,5) °C	-
4	0 °C	(-1,7 a -3,9) °C	(26,9 a 27,3) °C	-
5	-0,8 °C	(-2,7 a -6) °C	(26,8 a 27,2) °C	-
6	-1,0 °C	(-1,9 a -2,7) °C	(27 a 27,6) °C	-
7	-1,3 °C	(-1,8 a -3,8) °C	(28 a 29,3) °C	-
8	-3,1 °C	(-2,3 a -6,1) °C	(27,8 a 28,8) °C	As amostras com 12% tiveram mais resíduo acumulado no recipiente de descongelamento e na lavagem do bloco, onde as cascas de sururu puderam ser observadas em formato lamelar
9	1,7 °C	(0,8 a -5,3) °C	(27,3 a 28,4) °C	-
10	0,6 °C	(-1,4 a -5,8) °C	(27,5 a 27,6) °C	-
11	-3,3 °C	(-2,2 a -6,2) °C	(27,2 a 27,6) °C	-
12	-5,7 °C	(-1,5 a -4,9) °C	(27,5 a 27,6) °C	-
13	-1,7 °C	(-3,3 a -5) °C	(26,9 a 27,6) °C	-
14	-1,6 °C	(-2,9 a -3,1) °C	(27,3 a 27,5) °C	-
15	-2,9 °C	(-1,8 a -3,9) °C	(26,9 a 27,6) °C	-
16	-0,7 °C	(-1,1 a -3,8) °C	(27 a 27,3) °C	-
17	-1,8 °C	(-0,2 a -3,5) °C	(26,7 a 27,5) °C	-
18	-3,4 °C	(-2,2 a -5) °C	(26,4 a 27,6) °C	-
19	-4,1 °C	(-1,6 a -3,4) °C	(26,4 a 27,3) °C	Queda de energia as 03:22 da manhã (os blocos estavam em descongelamento)
20	-2,9 °C	(-1,1 a -3,4) °C	(27,2 a 28,1) °C	-
21	-0,2 °C	(-1,9 a -3,3) °C	(27,6 a 28,2) °C	-
22	-7,1 °C	(-0,4 a -4,5) °C	(27,2 a 27,7) °C	-
23	-0,7 °C	(-1,8 a -3,4) °C	(27,1 a 27,5) °C	-
24	-1,7 °C	(-2,3 a -4,1) °C	(27,7 a 27,9) °C	Queda de energia as 12:35 em que a temperatura variou para 0,5 °C e ao retornar as 12:40 estabilizou-se no intervalo de -2,3°C até -4,1°C.
25	-1,9 °C	(-2,1 a -3,7) °C	(27,6 a 27,8) °C	Queda de energia as 15:44 em que a temperatura variou para 0,3 °C e ao retornar as 15:48 estabilizou-se no intervalo de -2,1°C até -3,7°C.
26	-2,8 °C	(-2,6 a -3,2) °C	(27,8 a 27,9) °C	-
27	-0,1 °C	(-2,8 a -5,0) °C	(27,3 a 27,8) °C	-
28	-2,0 °C	(-3,1 a -5,2) °C	(27,8 a 29,0) °C	-

APÊNDICE F – Ciclo das amostras do ensaio de congelamento e descongelamento dos blocos produzidos na fábrica: 2 amostras de cada família (II e III)

Ciclos do ensaio de congelamento e descongelamento	Temperatura da câmara fria antes do ensaio de congelamento (°C)	Variação de temperatura durante o congelamento (°C)	Variação de temperatura durante o descongelamento (°C)	Observações
1	- 3,4 °C	(0,6 a -5,8) °C	(27,0 a 27,8) °C	Ao retirar do recipiente de descongelamento notou-se que ainda os blocos estavam úmidos, tanto nas laterais, quanto na base. O bloco F0 apresentou uma superfície mais seca. Desplacamento ao manusear para o recipiente de descongelamento onde F5 (III), F10 (III) e F12 (II) Tiveram o maior desgaste.
2	- 5,2 °C	(-1,1 a -7,1) °C	(27,1 a 27,6) °C	-
3	- 0,4 °C	(0,3 a -7,4) °C	(27,3 a 27,5) °C	-
4	- 4,6 °C	(-2,4 a -5,7) °C	(27,1 a 27,3) °C	-
5	- 1,8 °C	(-3,4 a -5,8) °C	(27,1 a 27,3) °C	-
6	- 0,2 °C	(-0,8 a -8,5) °C	(27,3 a 27,6) °C	-
7	- 0,4 °C	(-1,4 a -3,6) °C	(26,6 a 27,7) °C	-
8	- 2,6 °C	(-1,4 a -5,5) °C	(26,7 a 27,8) °C	-
9	- 6,0 °C	(-2,2 a -3,5) °C	(27,6 a 28,1) °C	-
10	- 0,7 °C	(-3,5 a -5,1) °C	(27,5 a 27,9) °C	-
11	- 2,8 °C	(-4,2 a -5,3) °C	(27,9 a 28,1) °C	-
12	- 4,7 °C	(-1,3 a -4,2) °C	(27,6 a 28,0) °C	-
13	- 1,8 °C	(-1,2 a -4,0) °C	(27,0 a 28,1) °C	-
14	- 0,8 °C	(-2,8 a -4,7) °C	(27,6 a 28,3) °C	-
15	- 4,6 °C	(-2,1 a -4,2) °C	(28,5 a 28,9) °C	-
16	- 0,8 °C	(-2,9 a -3,9) °C	(28,0 a 28,6) °C	-
17	- 5,4 °C	(-2,9 a -4,2) °C	(27,8 a 28,6) °C	-
18	- 5,3 °C	(-2,1 a -3,8) °C	(27,6 a 28,8) °C	-
19	- 2,4 °C	(-2,0 a -5,2) °C	(27,8 a 28,8) °C	-
20	- 4,0 °C	(-1,7 a -4,2) °C	(28,1 a 28,6) °C	-
21	- 3,4 °C	(-2,2 a -4,2) °C	(28,1 a 28,5) °C	Queda de energia as 14:50 em que a temperatura variou de - 2,2°C para -1,7°C ao retornar as 14:51.
22	- 2,9 °C	(-1,4 a -2,8) °C	(27,2 a 28,7) °C	-
23	- 2,1 °C	(-1,8 a -3,1) °C	(27,8 a 28,3) °C	-
24	- 3,4 °C	(-2,7 a -6,4) °C	(27,3 a 28,5) °C	-
25	- 0,4 °C	(-1,2 a -3,0) °C	(28,2 a 28,6) °C	-
26	- 1,2 °C	(-3,2 a -4,3) °C	(28,7 a 28,8) °C	-
27	- 3,0 °C	(-1,9 a -5,9) °C	(28,3 a 28,6) °C	Queda de energia as 7:41 em que a temperatura variou de - 2,0°C para -1,7°C ao retornar as 7:43, e houve uma segunda queda de energia as 13:10 onde variou a temperatura de -1,7°C para -1,1°C ao retornar as 13:12.
28	- 1,5 °C	(-2,0 a -3,8) °C	(28,7 a 28,8) °C	Notou-se que no recipiente F0(II) houve deslocamento de dimensões maiores.

APÊNDICE G– Ensaio de resistividade em blocos produzidos em larga escala

Ensaio de Resistividade				
Blocos produção larga escala	F0	F5	F10	F12
MÉDIA	13,50	22,20	27,00	38,80
DESVIO PADRÃO	1,22	2,03	3,78	4,87

APÊNDICE H– Ensaio de resistividade em blocos produzidos manualmente

Ensaio de Resistividade				
Blocos produção manual	M0	M5	M10	M12
MÉDIA	9,10	28,90	46,70	17,40
DESVIO PADRÃO	1,49	1,83	3,91	2,60