

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
AGÊNCIA DE INOVAÇÃO, EMPREENDEDORISMO, PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO
E INTERNACIONALIZAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

MATHEUS DA SILVA PINHO

**REJEITOS DO COCO VERDE PARA COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS
UTILIZÁVEIS NO DESIGN DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

São Luís

2025

MATHEUS DA SILVA PINHO

**REJEITOS DO COCO VERDE PARA COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS
UTILIZÁVEIS NO DESIGN DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão – UFMA, como requisito para obtenção do título de Mestre em Design.

Linha de Pesquisa: Design - Materiais, Processos e Tecnologia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Lucia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi

Coorientadora: Prof^a Ma. Julyana da Silva Lima

São Luís

2025

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

da Silva Pinho, Matheus.

REJEITOS DO COCO VERDE PARA COMPOSIÇÃO DE
MATERIAIS UTILIZÁVEIS NO DESIGN DE PRODUTOS PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL

/ Matheus da Silva Pinho. - 2025.

141 f.

Orientador(a): Ana Lucia Alexandre de Oliveira
Zandomeneghi.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Design/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís,
2025.

1. Design Sustentável. 2. Fibras do Coco Verde. 3.

Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

MATHEUS DA SILVA PINHO

**REJEITOS DO COCO VERDE PARA COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS
UTILIZÁVEIS NO DESIGN DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Defendido em: 12/09/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Lucia Zandomeneghi (Orientadora)

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento (UFSC)

Prof. Dr. Denilson Moreira Santos

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais (UFSCar), Doutor em Química (UNESP)

Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Mestre e Doutor em Engenharia e Gestão do Conhecimento (UNESP)

Prof. Dr. José Bello Salgado Neto

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Engenheiro Civil e Doutor em Urbanismo (UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Não sou uma pessoa que costuma agradecer aos outros de maneira verbal ou textual. Por isso, espero que essas muitas palavras possam expressar minha gratidão por todos os indivíduos e grupos aqui citados.

Inicialmente devo começar a sequência de agradecimentos pela pessoa que conviveu comigo a maior parte da minha vida. Dona Inez Maria, vulgo mamãe, apesar de sermos pessoas muito diferentes, fico muito contente que tenhamos a capacidade de falar sobre tudo sem que isso seja levado para o lado pessoal. O que é algo raro, mesmo entre familiares, e que me permite avaliar o mundo por outra perspectiva. Você sabe que, apesar de não ser ou falar de maneira afetuosa, é, sem sombra de dúvidas, a pessoa mais importante da minha vida. Razão pela qual gostaria de começar meus agradecimentos por você, que teve influência significativa na minha jornada e que continua me guiando nos momentos bons e ruins. Espero desfrutar de sua companhia por muito tempo, mas você deve começar a fazer algum exercício.

No espectro oposto, tenho a obrigação de dedicar algumas linhas ao meu pai. Assim como minha mãe, considero que fomos diferentes desde o início. Um homem alegre em toda a situação, amado e respeitado por muitas pessoas. Alguém trabalhador e com um grande coração. Sinto que poderia ter aprendido muito com ele se tivesse me comprometido mais a permanecer em sua companhia, mesmo que ela fosse entediante as vezes. Acho que se tivéssemos mais tempo, provavelmente teríamos criado uma ligação mais forte e isso não me chateia. Pois sei que nesses últimos anos começamos a ficar mais próximos do que fui a minha vida toda. Motivo para ficar satisfeito com nossa reconciliação silenciosa. Por fim, espero continuar honrando as lições que você passou para mim através das suas atitudes. Espero que sua nova jornada não o deixe com saudades daqueles que ficaram, mas que isso seja apenas uma pequena pausa para um reencontro caloroso que começará, provavelmente com um assovio.

Em seguida falarei brevemente da minha família, pois as pessoas que tenho ao meu redor são os melhores exemplos daquilo que cada um oferece de mais nobre. O altruísmo de Netto aos outros, o cuidado de vovó, a sabedoria de vovô, a alegria de viver do meu primo Pedro e a dose certa de sarcasmo do meu tio Marcelo, afinal de contas o que seria do humor sem uma boa dose de sarcasmo. Vocês são um conjunto muito especial de pessoas que sempre acabam me ensinando alguma coisa. E por isso eu agradeço a todos vocês.

Aos meus amigos, devo dizer que tenho diversos grupos, pessoas muito diferentes e que não ousaria reunir em um único espaço. Pois sei que uma confusão imensa poderia acontecer. Cada um deles tem seu valor a sua própria maneira e isso é o que torna cada um desses grupos e seres especiais e únicos. Razão pela qual gostaria de dedicar linhas para dizer que a companhia de vocês oferece um conforto diferente daquele que minha família dá. Estou dizendo que nos bons e maus momentos vocês estão lá e espero ser o tipo de pessoa que acompanha aqueles que me fizeram companhia também nessas situações, muito obrigado por isso.

Compondo o último grupo chamo meus colegas de turma. Não posso dizer que criei grandes histórias com vocês ou que formamos laços para a vida toda, entretanto, não trocaria ninguém daquela turma. As alegrias e dificuldades eram relatadas via mensagem por cada um, passando para mim o sentimento de uma pequena tribo pré-histórica. Não sabíamos fazer nada e por causa dos nossos professores e do nosso senso de comunidade mútua conseguimos escalar as nossas próprias muralhas. Espero que ao final das defesas possamos nos encontrar mais uma vez para celebrar o êxito de todos.

Passando para a parte menos sentimental dos agradecimentos, mas igualmente importante para a concretização da dissertação. Devo agradecer, logicamente, a minha orientadora Ana Lucia Zandomeneghi. Pessoa calma, de muita sabedoria e muita empatia.

Agradeço toda sua ajuda na situação que envolvia o falecimento do meu pai, junto ao que isso implicava no futuro do meu irmão. Posso dizer que você me fez desejar voar muito alto, todavia, assim como Icaro, isso acabou levando a minha queda por um breve momento. Nunca vou esquecer que próximo da qualificação tive que mudar todo o meu trabalho. Felizmente essa memória, antes angustiante, se tornou uma boa história para contar. Razão para agradecer, pois foi nesse momento de dificuldade que pude me superar para me surpreender comigo mesmo e com aquilo que podia realizar.

Mudando de assunto devo comentar sobre o professor Denilson. Gostei muito de frequentar sua disciplina sobre materiais. Primeiro, porque não entendia muito sobre o tema. Segundo, porque sorria demais com seus comentários sobre a disciplina e a vida. Apesar do rosto aparentemente sério sinto que existe mais alegria do que você costuma expressar o que é surpreendente e engraçado. Espero levar a vida da maneira que você aparenta dar aula, com calma e seriedade, mas ao mesmo tempo com uma dose de diversão.

Durante meu período do mestrado tive a oportunidade de ficar quase três meses em Belo Horizonte. Algo aconteceu por causa da professora Raquel Noronha. Experiência muito importante para o desenvolvimento do meu trabalho. Deixo aqui os meus agradecimentos pelo apoio.

Além disso, durante meu tempo em Minas tive o prazer de conhecer muitas pessoas, todas elas cativantes a sua própria maneira. Por isso, gostaria de expressar minha gratidão a professora Caroline Salvan Pagnan, Eliane Ayres e Rosemary do Bom Conselho Sales, todas incríveis naquilo que se propõem a fazer.

A professora Caroline foi a que me recepcionou no Centro Design e Experimentação (CDE), amante de café e com diversas histórias para contar. Ela foi a pessoa que ofereceu a oportunidade de entrar em um laboratório pela primeira vez, o que é fascinante, animador e amedrontador ao mesmo tempo. Sinto que mesmo no curto tempo que permaneci na sua presença comecei a entrar em contato com um lado menos objetivo meu, o que é bom de um jeito diferente e divertido.

Quanto a sua comparsa de disciplina, a professora Eliane Ayres, posso dizer que, assim como Carol, tem muitas histórias para contar e saber analisar um gráfico como ninguém. Foi a partir dela que tive vontade de realizar os testes de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Com toda a certeza, as primeiras aulas que ela deu foram muito difíceis, por sorte, depois de um tempo comecei a compreender o que ela estava dizendo. Razão pela qual realizei esses testes, além disso, ao realizar os testes, mesmo que eles pareçam, aparentemente, bobos (ou seja, não acontece nenhuma explosão ou algo empolgante), me senti um cientista maluco, que era algo que gostaria de fazer em algum momento da minha infância. Posso dizer que Eliane e Carol ofereceram a criança dentro de mim a oportunidade de ser esse cientista louco durante a pesquisa, por isso eu sou muito agradecido.

Quanto aos demais membros do CDE, muitos eu conheci, muitos não. Gostaria de agradecer a Julia, minha mentora pessoal do laboratório. Mesmo sendo uma grande responsabilidade, afinal eu era uma pessoa estranha entrando em um ambiente novo, posso garantir que minha passagem pelo CDE não seria a mesma sem a sua presença.

Por fim, a Rosemary do Bom Conselho Sales, as manhãs de terças sempre eram reflexivas. Não sei se entrei em uma cadeira de materiais ou em uma de psicologia ou filosofia. Eram tantas perguntas com muitas respostas, nada era certo ou errado. Ainda mais quando se fala de sustentabilidade, tema confuso, mas importante. Enquanto Carol me fez analisar as coisas com um pouco de falta de objetividade, você me fez expressar isso, pela fala ou pelo texto. Algo que foi muito interessante e esclarecedor, pois sinto que acabei conhecendo a mim mesmo um pouco mais, solidificando convicções antigas e questionando outras. Quem diria

que uma cadeira sobre materiais na verdade poderia sugerir a reflexão sobre sua própria essência. Por isso eu agradeço a você.

Aos meus companheiros de viagem Luiza, Marcelo, Julia e Juliano. Durante essa experiência em BH vocês foram essenciais para que não sentisse solidão ou isolamento. Provavelmente esse é o parágrafo mais curto dos agradecimentos, mas entendam que essa ação engloba outras coisas, como as viagens, passeios, conversas e refeições que compartilhamos. Afinal de contas é a conexão com as pessoas que erguem elas nos piores momentos e as fazem flutuar nos melhores.

Indo as partes finais dos agradecimentos, temos a professora Raissa Muniz Pinto, que me deu aula enquanto ainda era aluno de Arquitetura na UNDB. Fico contente com sua posição atual na instituição e gostaria de uma cópia do discurso que você fez para a turma que se formou no final do ano de 2019, a qual eu estava, foi algo muito bonito que gostaria de lembrar. Além disso, foi através de você que consegui ter acesso as instalações da UNDB para que pudesse realizar os ensaios mecânicos. Posso dizer que sem sua ajuda esse trabalho poderia ter passado por muitas outras dificuldades.

Já a professora Julyana da Silva Lima Duarte, teve o papel burocrático de permitir meu acesso ao laboratório onde as amostras foram confeccionadas e testadas. É claro, não posso esquecer de Edimar, técnico que me auxiliou na confecção e testes das amostras. Diversos desafios bateram a nossa porta durante essas semanas, por sorte, sua companhia conseguiu me guiar nesses momentos, apesar do cansaço você conseguiu clarear minha mente em certos momentos. Agradeço as professoras, tanto a Raissa e Julyana, quanto a Edimar por sua ajuda na reta final da minha jornada.

Também gostaria de agradecer ao professor Harvey responsável por me colocar em contato com Dielson e Geyse. Dielson me auxiliou na trituração das cascas do coco verde, através do uso de uma máquina. Já Geyse foi a técnica que me auxiliou na realização dos testes de FTIRs

E por fim, agradeço ao professor Paulo Vitor Campos Ferreira do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da UFMA, que foi responsável pela realização das análises de MEV e EDS.

RESUMO

Uma das características marcantes dos centros urbanos é a alta densidade demográfica, propriedade que se encaixa na descrição da cidade de São Luís, Maranhão. Esse fato implica no consumo e descarte tanto de objetos quanto de artefatos proporcional à quantidade de consumidores. Por ser um produto comercializado intensamente no município, o coco verde é fonte de diversas adversidades no âmbito do perímetro urbano devido a sua popularidade entre os habitantes. Como forma de contribuir para a redução dos impactos oriundos do descarte deste rejeito no entorno urbano, a pesquisa apresenta como objetivo geral compreender os benefícios que a fibra de coco verde gera ao ser adicionada em uma mistura de matriz cimentícia. Esta pesquisa caracteriza-se por sua natureza aplicada e explicativa quanto aos objetivos, quantitativa em relação a abordagem, apoiando seu conteúdo nas pesquisas bibliográfica, documental e de laboratório. No decorrer desse estudo foram confeccionados um grupo de controle, denominado grupo padrão (P), formado apenas por argamassa e outros dois grupos que substituem 2,4% (F2,4) e 2,51% (F2,51) do peso do cimento por fibra do coco verde. Esses conjuntos de amostras (P, F2,4 e F2,51) foram examinados pelos seguintes testes: Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), absorção de água, compressão e flexão quatro pontos. Após o FTIR e EDS foi possível compreender a composição química das amostras sem e com fibra de coco verde. Já o MEV diferenciou a textura superficial da matriz para a fase dispersa do material criado. No teste de absorção de água observou-se uma redução da densidade dos compósitos F2,4 e F2,51 em relação ao grupo P. Já os testes de compressão e flexão revelaram que as fibras fortalecem a matriz cimentícia através do aprimoramento da resistência a esforços de tração. Constatou-se que a união da fibra de coco com a matriz cimentícia pode ter impactos positivos por reaproveitar um objeto descartado com frequência na cidade de São Luís, o que possibilita a redução de uso do cimento, dissolvendo seus impactos ambientais no decorrer do tempo. É possível concluir que o design pode ser um articulador de elementos aparentemente sem relação, aproximando áreas distintas de modo a buscar formas de compreender e diagnosticar situações ligadas à concepção, produção, consumo e descarte de objetos e/ou artefatos.

Palavras-chave: Design sustentável; Fibras do coco verde; Compósito; Construção Civil.

ABSTRACT

One of the striking characteristics of urban centers is the high demographic density, a property that fits the description of the city of São Luís, Maranhão. This fact implies the consumption and disposal of both objects and artifacts proportional to the number of consumers. As it is a product intensely marketed in the municipality, the green coconut is a source of several adversities within the urban perimeter due to its popularity among the inhabitants. To contribute to the reduction of the impacts arising from the disposal of this waste in the urban environment, the research has as a general objective to understand the benefits that green coconut fiber generates when added to a cementitious matrix mixture. This research is characterized by its applied and explanatory nature as to the objectives, quantitative in relation to the approach, supporting its content in bibliographic, documentary and laboratory research. During this study, a control group, called the standard group (P), formed only by mortar, and two other groups that replace 2.4% (F2.4) and 2.51% (F2.51) of the cement weight with green coconut fiber, were created. These sample sets (P, F2.4 and F2.51) were examined by the following tests: Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), Scanning Electron Microscopy (SEM), water absorption, compression and four-point bending. After FTIR and EDS, it was possible to understand the chemical composition of the samples without and with green coconut fiber. On the other hand, SEM differentiated the surface texture of the matrix to the dispersed phase of the created material. In the water absorption test, a reduction in the density of the F2.4 and F2.51 composites was observed in relation to the P group. It was found that the union of coconut fiber with the cementitious matrix can have positive impacts by reusing an object frequently discarded in the city of São Luís, which makes it possible to reduce the use of cement, dissolving its environmental impacts over time. It is possible to conclude that design can be an articulator of apparently unrelated elements, bringing together different areas to seek ways to understand and diagnose situations related to the conception, production, consumption and disposal of objects and/or artifacts.

Keywords: Sustainable design; green coconut fibers; composite; civil construction.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo de absorção de água, em porcentagem	64
Equação 2: Cálculo de resistência a compressão.....	66
Equação 3: Cálculo da interpolação linear	67
Equação 4: Cálculo de resistência à flexão	68
Equação 5: Cálculo da densidade	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Peso das amostras por grupos; a) Média e desvio padrão das amostras cilíndricas; b) Média e desvio padrão das amostras prismáticas	73
Gráfico 2: Volume amostras por grupos; a) Média e desvio padrão das amostras cilíndricas; b) Média e desvio padrão das amostras prismáticas	74
Gráfico 3: Densidade das amostras por grupos; a) Média e desvio padrão das amostras cilíndricas; b) Média e desvio padrão das amostras prismáticas	76
Gráfico 4: Resultados dos testes de absorção de água, em porcentagem.	77
Gráfico 5: Medias e desvios padrão dos grupos P, F2,4 e F2,51 do teste de absorção de água, em porcentagem.....	78
Gráfico 6: Resultados dos ensaios de compressão pós aplicação do fator de correção, segundo a NBR 5739	79
Gráfico 7: Resultados do ensaio de compressão, média e desvio padrão. a) Força aplicada registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; b) Resistência registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; c) Tensão de ruptura calculada após os testes de compressão e d) Cálculo da resistência pós aplicação do fator de correção segundo NBR 5739	80
Gráfico 8: Comportamentos anormais relacionados as amostras F2,4C2, F2,4C3, F2,51C4 e F2,51C5 nos resultados de: a) Cálculo da resistência pós fator de correção segundo NBR 5739; b) Cálculo da tensão de ruptura; c) Resistência registrada pela máquina de ensaio; d) Força máxima registrada pela máquina de ensaio	82
Gráfico 9: Resultados do ensaio de flexão da média com desvio padrão. a) Força aplicada registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; b) Resistência registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; c) Tensão de ruptura calculada após os testes de compressão e d) Cálculo da resistência pós aplicação do fator de correção segundo NBR 12142.	85
Gráfico 10: Concentração de peso dos elementos em porcentagem; a) amostra com FCV; b) amostra sem FCV	87
Gráfico 11: FTIR, amostra sem FCV	89
Gráfico 12: Identificação do grupo funcional OH e CO ₂ H, amostra sem FCV	90

Gráfico 13: Identificação do grupo funcional SiO_2 , recorte na faixa 400-1000. a) Amostra sem FCV. b) Amostra de areia	91
Gráfico 14: Identificação do grupo funcional CSH, amostra sem FCV	91
Gráfico 15: Identificação do grupo funcional CaCO_3 , amostra sem FCV	92
Gráfico 16: FTIR, amostra com FCV	92
Gráfico 17: Destaque dos grupos funcionais OH (3000-4000) e CaCO_3 (2800-3000), amostra de FCV.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: ODSs	28
Figura 2: Ação antrópica x tempo.....	29
Figura 3: Trajetória do design ambientalmente responsável	32
Figura 4: Repercussões derivadas do aumento de densidade populacional	34
Figura 5: Interação entre os pilares sustentáveis com base em Reed (2007)	35
Figura 6: Exemplificação do ensaio de flexão 3 pontos.....	68
Figura 7: Diagrama esquemático de transformada de Fourier	71
Figura 8: Pastilhas utilizadas durante os FTIRs	72
Figura 9: 1º e 2º passos.....	54
Figura 10: Equipamento utilizado para triturar os cocos.....	55
Figura 11: FCV adquirida após os 4º e 5º passos	55
Figura 12: A esquerda – FCV submersas na água; A direita – Pó e fibra molhados	56
Figura 13: 7º passo	57
Figura 14: Consistência da argamassa produzida.....	60
Figura 15: Mesa vibratória usada para reduzir as bolhas de ar no interior das amostras	61
Figura 16: Amostras F2,51 após ensaio de compressão. Com sinalizações das áreas que ocorreram acúmulo de ar devido à ausência de vibração das amostras.....	75
Figura 17: Comparação entre rupturas das amostras do grupo P (fileira superior) e grupo F2,4 (fileira inferior).....	81
Figura 18: Fotografia após a realização do ensaio de flexão. Destacando a ruptura parcial impedida pela FCV	83
Figura 19: Comparação entre rupturas das amostras dos que possuem e não possuem FCV em sua composição.....	84
Figura 20: MEV 50x. A esquerda - amostra sem FCV; A direita - amostra com FCV	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados sobre o coqueiro e o coco verde	23
Quadro 2: Benefícios do reaproveitamento de materiais.....	24
Quadro 3: Compilado de informações para justificar a escolha do cimento como matriz.....	25
Quadro 4: Pesquisas sobre o uso do coco verde após o consumo	48
Quadro 5: Caracterização da pesquisa.....	49
Quadro 6: Lista de materiais usados durante a pesquisa.	51
Quadro 7: Lista de equipamentos usados durante a pesquisa.....	51
Quadro 8: Relação de etapas para composição do método de obtenção da FCV.....	53
Quadro 9: Normas e referências para cada testes	63
Quadro 10: Parâmetros alterados no teste de absorção de água	64
Quadro 11: Dados inseridos na máquina de ensaio durante os testes de compressão.....	66
Quadro 12: Dados inseridos na máquina de ensaio durante os testes de flexão.....	69
Quadro 13: Informações gerais sobre os FTIRs	72
Quadro 14: Componentes presentes no cimento	88
Quadro 15: Possíveis atribuições associadas aos respectivos comprimentos de onda	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição dos grupos P; F2,4 e F2,51	63
---	----

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

A/C	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
FCV	Fibra do coco verde
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PPGDg	Programa de Pós-Graduação em Design
RCC	Resíduos da construção civil
UFMA	Universidade Federal do Maranhão

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

cm^{-1} Recíproco do Centímetro

kN Quilonewton

MPa Megapascal

Sumário

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Pergunta da pesquisa	21
1.2	Objetivo geral	22
1.3	Objetivos específicos.....	22
1.4	Justificativa.....	22
2	SUSTENTABILIDADE.....	26
2.1	Os pilares sustentáveis.....	32
2.2	A relação entre pilares	34
3	O DESIGN E A CONSTRUÇÃO CIVIL.....	36
3.1	Compósitos: Os pais dos novos materiais	39
3.2	Pesquisa em compósitos	41
4	MATERIAIS	45
4.1	Cimento	45
4.2	Coco verde (<i>Cocos nucifera</i> L.)	46
5	MÉTODOS E TÉCNICAS.....	49
5.1	Levantamento de dados	50
5.2	Confecção dos corpos de prova.....	50
5.2.1	Verificação de equipamentos	50
5.2.2	Obtenção da FCV	51
5.3	Quantificação dos materiais	58
5.4	Preparo dos corpos de prova	59
5.4.1	Confecção do grupo Padrão (P).....	59
5.4.2	Confecção do grupo com 2,4% de fibras (F2,4).....	61
5.4.3	Confecção do grupo com 4,4% de fibras (F4,4).....	62
5.5	Realização dos testes	63

5.6	Absorção de água	63
5.7	Compressão	65
5.8	Flexão 4 pontos	67
5.9	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) 70	
5.10	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	71
6	RESULTADOS.....	72
6.1	Propriedades Físicas	72
6.2	Absorção de Água	76
6.3	Compressão	79
6.4	Flexão	83
6.5	Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)	86
6.6	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	88
6.7	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)	89
7	CONCLUSÕES.....	94
8	PESQUISAS FUTURAS	97
	REFERÊNCIAS	99
	Apêndice A	106
	Apêndice B	113
	Apêndice C	122
	Apêndice D	128
	Apêndice E	134
	Apêndice F.....	136
	Apêndice G.....	140

1 INTRODUÇÃO

O lixo é um objeto ou artefato que carece de propósito e/ou sentido (Cardoso, 2012). Para maior compreensão cabe destacar a distinção entre objeto e artefato de acordo com Cardoso (2012, p.24): “Uma montanha, uma pedra ou uma árvore são objetos, mas não artefatos. Artefato é um objeto feito pela incidência da ação humana sobre a matéria-prima: em outras palavras, por meio da fabricação.” Em uma sociedade onde vários dos artefatos são considerados descartáveis, encontrar maneiras de aumentar o reaproveitamento de uma parcela do “lixo” produzido tornou-se uma questão de sobrevivência a longo prazo para a espécie humana.

Pois diversas matérias-primas utilizadas atualmente para manter o padrão de vida moderno possuem uma data de validade devido a obsolescência programada (Assumpção e Dantas, 2016). Além disso, vários desses recursos formaram e mantiveram cadeias produtivas que contribuem significativamente para o aumento dos índices de poluição. Portanto, é essencial que o homem busque soluções adequadas a situação atual. Que perpassa por diversas características da sociedade moderna ligadas à produção, consumo e descarte das coisas. Logo, prolongar o tempo de utilização de artefatos é uma premissa interessante para a escassez de materiais. Mas essa é apenas uma das ações possíveis que permitem uma alteração dos paradigmas atuais, representando uma parcela minúscula do movimento em direção às mudanças consideradas sustentáveis.

O caminho até que ações desse tipo demonstrem seu potencial de mudança ao transformarem-se no resultado que tanto pregam conseguir é árduo. O que, por consequência, distanciaria a sociedade de consumo moderna da crise ambiental. Por isso, não basta apenas reduzir, reciclar e reaproveitar produtos. Pois, a necessidade de encontrar materiais com menor impacto ambiental e de natureza renovável é um dos fatores que apresentam a possibilidade de repercussão mais significativa a um curto prazo. Entretanto, mesmo com a provável ausência de retração de mercadorias adquiridas por pessoas devido aos hábitos de consumo da sociedade (Lipovetsky, 2007), as cadeias produtivas passariam a extrair menos recursos virgens já que passaram a aproveitar materiais que poderiam ser tidos como lixo.

Assim, as pesquisas focadas na identificação e/ou desenvolvimento de novos materiais têm o potencial de alimentar cadeias produtivas com recursos voltados à redução da poluição, passando a apresentar artefatos, já consolidados no mercado, com novos componentes apropriados à crise ambiental moderna. Por isso, é essencial observar quais recursos estão sendo mal aproveitados para, a partir daí, planejar a utilização de objetos e artefatos após o seu

descarte. No caso da cidade de São Luís, o coco verde pode ser uma possibilidade de objeto descartado como lixo que, diante de suas características, poderá ser agregado a outros materiais para o desenvolvimento de novos artefatos.

“O coco apresenta inúmeras vantagens na sua utilização, que além de ser um material ecológico e facilmente reciclável, pertencente à família das fibras duras, tem como principais componentes a celulose e o lenho que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza, encontrando-se perfeitamente vocacionada para os mercados de isolamento térmico e acústico, face às suas características, que a tornam num material versátil, dada a sua resistência, durabilidade e resiliência.” (Senhoras, 2004, p. 2).

Nesse processo de corrigir a maneira como recursos são utilizados, cidades são de extrema importância nessas experimentações. Por sua diversidade, os produtos confeccionados com derivados do coco verde podem ser empregados em atividades contrastantes, sendo que setor de construção pode apresentar uma redução de resíduos maior que o esperado por utilizar materiais e artefatos derivados do coco verde, em edificações, conforme expõem Silva *et al.* (2015, p. 671):

“[...] o setor construtivo tem muito a contribuir, principalmente no que concerne ao aproveitamento de resíduos, transformando-os em subprodutos. Nesse sentido, será importante, para o setor da Construção Civil, estimular as soluções tecnológicas inovadoras com dupla finalidade: primeiro, a diminuição da utilização de matéria-prima não renovável e, simultaneamente, o reaproveitamento de resíduos.”

Portanto, esse setor pode se aliar aos designers na idealização de caminhos adequados às novas ou antigas cadeias produtivas, almejando padrões de qualidade superiores. Já que, o campo do design busca conceber uma ideia que será amadurecida através de sua manifestação física (Löbach, 2001). Fica evidente como tais práticas podem beneficiar as propostas por meio da geração de ideias, critérios de avaliação e análise de produtos. Permitindo a modificação parcial da realidade, onde o empilhamento de soluções convergentes aos ideais sustentáveis tem o potencial de modificar o mundo. A maneira proposta pelo estudo apresentado é compreender como um rejeito como o coco verde pode interferir positivamente nas propriedades mecânicas de um compósito de matriz cimentícia.

1.1 Pergunta da pesquisa

Quais são as alterações que fibra de coco verde (FCV) provoca em compósitos de matriz cimentícia?

1.2 Objetivo geral

Analisar como a adição de FCV em compósitos de matriz cimentícia altera as características físicas e mecânicas do novo material.

1.3 Objetivos específicos

- Pesquisar informações relevantes sobre o fruto que permitam compreender os problemas causados pelo seu descarte em excesso e quais circunstâncias levam a essa situação;
- Realizar o processo de obtenção da FCV;
- Listar normas, técnicas, materiais e ferramentas que orientem ou auxiliem tanto a confecção das amostras quanto a execução dos ensaios propostos;
- Testar os corpos de prova confeccionados segundo as normas que regem tanto a execução dos testes quanto os parâmetros de qualidade que as amostras devem atingir.

1.4 Justificativa

O gerenciamento de recursos naturais é indispensável para a perpetuação dos seres humanos em tempos de escassez. Um cenário que pode ser agravado pelo avanço tecnológico, que revelou o desafio de desenvolver autonomia de materiais finitos na atualidade. Com isso, a busca por substitutos para componentes poluentes e/ou não renováveis se tornou uma pauta nos meios acadêmicos e midiáticos, que propõem maneiras de reduzir a dependência humana desses elementos. Por esse motivo, o estudo desenvolvido busca apresentar o reaproveitamento das FCV como uma alternativa em potencial para o panorama atual.

O coqueiro-anão (*Cocos nucifera*) apresenta um período frutífero ininterrupto (Holanda, 2007), além disso a extensa comercialização dos frutos, em regiões costeiras, resulta em quantidades de rejeito que influenciam diretamente na coleta de lixo nos centros urbanos. Isso ocorre devido a adaptabilidade da espécie aos locais e valorização do líquido (Brainer, 2021), incentivando o consumo e posterior descarte inapropriado. Esses e outros dados foram listados no Quadro 1.

Quadro 1: Dados sobre o coqueiro e o coco verde

	Informação	Descrição	Referência
Coqueiro	Objeto de estudo	Coqueiro-anão (aquele que fornece o coco verde)	O Autor
	Origem	Sudeste asiático	Martins e Jesus Jr (2011)
	Classificação	São <i>Monocotyledoneae</i>	Fontes <i>et al.</i> (2006)
	Temperatura ideal de cultivo	Adapta-se melhor às faixas territoriais que apresentam temperatura média recorrente de 27°C, com uma variação de 7°C para mais ou para menos	Fontes <i>et al.</i> (2006)
	Período frutífero	É constante durante o ano	(Holanda, 2007)
Coco no Brasil	Introdução no Brasil	“foi introduzido no Brasil no século XVI em Pernambuco por Duarte Coelho”	Oliveira (p. 146, 2022)
	Região de destaque produtivo	a maior parcela da produção de coco se concentra na região nordeste do Brasil	Brainer (2021)
	Região de maior consumo	Regiões litorâneas	Silva (2014)
Coco verde	Capacidade de armazenamento do fruto	armazenar 300 ml de água em média	Martins e Jesus Jr (2011)
	Umidade do coco	85 a 90%	(SLEA, 2022)
	Resíduo do coco	Cada fruto gera 1 kg de resíduo após descarte	(SLEA, 2022)
	Volume do rejeito	125 de cocos equivalem a 1 m ³	(Silva, 2014 Apud Cintra <i>et al.</i> , 2009)
	Resíduos gerados em São Luís (kg)	800 toneladas geradas por mês	(SLEA, 2022)
	Resíduos gerados em São Luís (m ³)	6400 m ³ gerados por mês	Cruzamento das informações Resíduo do coco, Volume do rejeito e Resíduos gerados em São Luís (kg)
	Período de decomposição	Mínimo: 8 anos Máximo: 12 anos	(Carrijo <i>et al.</i> , (2002); Silva, (2014); Matos, (2017)

Fonte: referências citadas no próprio quadro

Logo, os aspectos que envolvem o trajeto pós-consumo servem de alerta para a necessidade de iniciativas em prol do aproveitamento do coco verde, para além do simples consumo da água.

O tempo prolongado de decomposição (Silva, 2014) e acúmulo constante do fruto constitui um fardo para os centros urbanos por ser considerado lixo. Isso ocorre pelo amplo consumo (Rosa *et al.*, 2001; Silva, 2014; Souza *et al.*, 2015), o tornando um problema para as administrações municipais. O que faz seu potencial de reaproveitamento ser subvalorizado pela ausência tanto de uma coleta eficiente quanto de proposições satisfatórias para o coco verde.

A região maranhense, assim como o litoral brasileiro, possui características ambientais essenciais para a presença do coqueiro, o que contribui para o desenvolvimento dessa pesquisa. Especialmente, considerando que a sustentabilidade reforça a agência e a utilização de recursos regionais, limitando a logística de transporte internacional para refino e redistribuição do

produto manufaturado (Santos *et al.*, 2018a; 2018b; 2019), aspecto que poderá incentivar os empreendedores locais de pequeno porte a praticarem simbiose industrial. Que é definida por Manzini e Vezzoli (2011) como, o desenvolvimento de uma cadeia de produção, entre empresas próximas geograficamente, que aproveitam subprodutos uma das outras para gerar mercadorias comercializadas no espaço geográfico em que estão inseridas.

No caso do coco verde, a simbiose industrial sugere a colaboração entre os agentes responsáveis pela coleta e destinação dessa matéria-prima para outras finalidades, além consumo de sua água. Elemento que não será aprofundado nesse estudo. Dito isso, a pesquisa tem a intenção de usar a FCV no desenvolvimento de um compósito destinado às necessidades da construção civil. Além disso, é possível encontrar outros benefícios resultantes desse reaproveitamento no Quadro 2.

Quadro 2: Benefícios do reaproveitamento de materiais

Prazo	Escala	
	Local	Regional
Curto	Diminuir a geração de resíduos; Reduzir o preço de mercadorias com o aproveitamento de materiais descartados.	Mostrar o coco verde, não apenas como alternativa aos problemas pesquisados, mas como uma das possibilidades de reaproveitamento de rejeitos orgânicos.
Médio	Instigar a melhoria nos serviços de coleta e separação de lixo; Reter a renda, reinvestindo-a em território municipal ou estadual; Valorizar/qualificar a mão de obra local.	Criar, aprimorar ou consolidar ciclos produtivos novos e/ou preexistentes; Provocar a interação entre empreendedores de setores distintos.
Longo	Permitir o desenvolvimento da economia local, devido o investimento em processos guiados pela simbiose industrial.	Prolongar o uso de matérias-primas finitas através da redução de seu uso; Melhorar as condições ambientais.

Fonte: Autor (2025)

No pensamento de Ashby e Johnson (2010), a substituição de matérias-primas poluentes por aquelas com menor impacto ambiental não são implementadas em semanas ou meses, podendo demorar anos ou décadas. O que promove diferentes tipos de solução, de maneira a não menosprezar, ou descartar, ideias que podem ter efeito no curto ou médio prazo. Já que são essas inovações que pavimentam o caminho para a consolidação de visões de planejamento que contemplam o longíssimo prazo.

Por se tratar de um compósito que busca oferecer opções para que ideias de longíssimo prazo sejam pensadas e executadas, o uso do cimento é adequado para o desenvolvimento desse novo material, já que possui uma cadeia produtiva poluente. Além disso, fatores como sua

aderência, popular e empresarial, junto a sua versatilidade de uso, intensificam sua extração, promovendo desmatamento e poluição no local de extração.

Foram descartadas as alternativas ecológicas como solo-cimento ou tijolos de adobe por não se adequam a premissa sugerida, pois a confecção dessas matrizes depende da caracterização do solo, o que oferece resultados de análise sem uma base estática de análise. Pois, mesmo ao extrair solo da mesma localidade, é possível que a caracterização dessas amostras apresente propriedades distintas entre si. Esses fatores guiaram o pesquisador a selecionar o cimento como elemento matriz. Já que ele oferece uma base de análise clara, com menor chance de heterogeneidade entre as matrizes, portanto entre as amostras, deixando as singularidades para as propriedades manifestadas da FCV. O conjunto de dados que justifica a escolha do cimento como elemento matriz está listada no Quadro 3:

Quadro 3: Compilado de informações para justificar a escolha do cimento como matriz

Fator da escolha	Justificativa da escolha
Tipo de cadeia produtiva	É uma cadeia poluente, então reduções na extração desse recurso diluem os índices de poluição pelo tempo
Conhecimento difundido sobre o uso do cimento	Por ser um material com diversas funções em uma edificação, o cimento é escolhido em boa parte das obras como um algum componente daquela edificação. Além disso, diversas pessoas conhecem o material e confiam em suas propriedades para esse uso específico
Viscosidade da mistura	A argamassa apresenta viscosidade que permite o crescimento da FCV e sua distribuição homogênea durante a mistura desses elementos.
Tempo de trabalhabilidade	Ao se produzir uma argamassa, seu tempo endurecimento é maleável, o que permite ao pesquisador organizar esse elemento pastoso nas formas sem que haja grande desperdício do material produzido.
Não necessita de um forno para seu enrijecimento	Por não exigir esse equipamento é mais fácil para o pesquisador produzir a quantidade de corpos de prova propostos
Baixa variabilidade de propriedades se comparado com outras técnicas	Por se tratar de um estudo que o objetivo é “analisar como a adição de FCV em compósitos de matriz cimentícia altera as características físicas e mecânicas do novo material”, a escolha do cimento oferece uma base de análise estática em comparação a outras técnicas como solo-cimento e tijolos de adobe

Fonte: Autor (2025)

Ademais, o presente estudo mostra particular relação com a linha de pesquisa Design: materiais, processos e tecnologia, do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Maranhão (PPGDg/UFMA), pelas temáticas em comum. Que promovem a sustentabilidade em todas as suas dimensões, visto que repercussões no ambiente e na economia acabam por influenciar o aspecto social inevitavelmente.

A localização da universidade, sede do PPGDg/UFMA, permitir a aproximação do pesquisador com os problemas levantados anteriormente. O que instiga esse agente de mudança a idealizar futuros e confrontá-los através de seus estudos, apresentando propostas para a melhoria das condições que envolvem os conflitos urbanos.

Já a aderência com o design vem da relação que essa área tem com a inovação, fruto da criatividade presente no raciocínio projetual desses profissionais, que, quando concretizados (em métodos e/ou produtos), realizam mudanças tanto no ambiente onde ocorreu a atuação do designer quanto em outras localidades. O que torna o profissional dessa área um entusiasta por novidades, atiçando sua curiosidade, o transformando, quase que indistintamente, em um pesquisador, portanto, um agente de mudança.

Por fim, já que São Luís abriga características geográficas propícias à presença do coco verde e um mercado consumidor gerador de resíduos. Essa pesquisa poderá contribuir para a melhoria das condições presentes no município, podendo beneficiar localidades que compartilham características, promovendo a pesquisa em nível local, regional, nacional e internacional.

2 SUSTENTABILIDADE

O ser humano compreende e analisa o mundo, assim como constrói sua história pessoal a partir de ciclos balizados pelas 24 horas do dia e das quatro estações do ano, ciclos que acompanham a vida, do nascimento a morte. Isso ocorre pela facilidade que o homem tem de estabelecer hábitos de vida, o que lhe provém estabilidade de eventos, que permitem entrelaçar sua existência à sua rotina pessoal. Então, essa previsibilidade apazigua o coração humano e oferece momentos de introspecção que o levam a repensar seus próprios costumes, seus próprios ciclos.

A partir de tais reflexões, cada indivíduo têm o potencial de perceber seu verdadeiro papel no universo que habita. Entretanto, suas ações representam quase que totalmente aspectos opostos aos que a sociedade deve cultivar para produzir um futuro melhor. Pois, os padrões consumistas oferecem ao ser humano uma valorização da matéria junto à ausência de reflexão sobre aquilo que o comprador traz para sua vida (Pinho e Zandomeneghi, 2023). Isso aflora condutas hedonistas e nihilistas que conduzem o indivíduo a determinados hábitos de consumo, que são as maneiras com que esses compradores manifestam sua identidade comprometendo-se com determinado grupo social a partir daí (Lipovetsky, 2007). O que forma uma cultura

interessada em expor valores através da matéria para não propriamente praticá-los de maneira concreta.

Na perspectiva sustentável, a construção de futuro tem por base valores que permitam o melhor desenvolvimento humano atrelado à manutenção e ao bem-estar, tanto econômico quanto ambiental (Santos *et al.*, 2018a; 2018b; 2019). Por isso a sustentabilidade pode ser vista como uma resposta direta à sociedade de consumo moderna. Como um empuxo que busca emergir o corpo que é submerso pela replicação de costumes, aqui representados pelos respectivos ciclos pessoais. Que causam como efeitos adversos a extração exagerada de recursos, o hiperconsumo (Lipovetsky, 2007), que tem como consequência o descarte e a posterior geração de lixo que repercute em problemas ambientais de escala global.

Então, é possível explorar a sustentabilidade como uma resposta direta à interação do homem com as circunstâncias que o cercam, permitindo a reflexão acerca do ambiente que compartilha com seus iguais e sobre as ações isoladas ou comunitárias que apresentam repercussões na dinâmica homem-ambiente. Esse conceito também pode relacionar a existência humana com sistemas de suporte de vida, estabelecendo uma conexão intrínseca entre o homem e todos os outros elementos naturais (Reed, 2007), estabelecendo ligações de dependência entre eles, deixando claro a dependência do homem da natureza. Logo, o pensamento sustentável tem como público a ser beneficiado o universo em que habita, que no presente momento limita-se aos habitantes do planeta Terra.

Dessa forma, a presença de organizações preocupadas com essas pautas ressalta a sustentabilidade como fator de alavancamento para o desenvolvimento humano.

É possível destacar como exemplo proeminente a Organização das Nações Unidas (ONU), que é responsável por elaborar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Que segundo a própria ONU (2023), podem ser vistos como “um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade”.

No total existem 17 ODSs que contemplam os pilares da sustentabilidade de maneira individual ou mista. Estes objetivos foram estabelecidos com um prazo de aplicação global até o ano de 2030, entretanto, a realidade da aplicação dessas diretrizes é complexa, se não utópica (Figura 1).

Figura 1: ODSs



Fonte: Organização das Nações Unidas (ONU), disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

Mas, ter objetivos utópicos como metas permite ao ser humano almejar parâmetros de conciliação entre ele e seu universo ideal. Logo, mesmo sem a aplicação integral do que se propõe, é esperado que pelo menos algumas mudanças sejam factíveis. O que já contribui para a mudança de certos costumes que degradam a Terra.

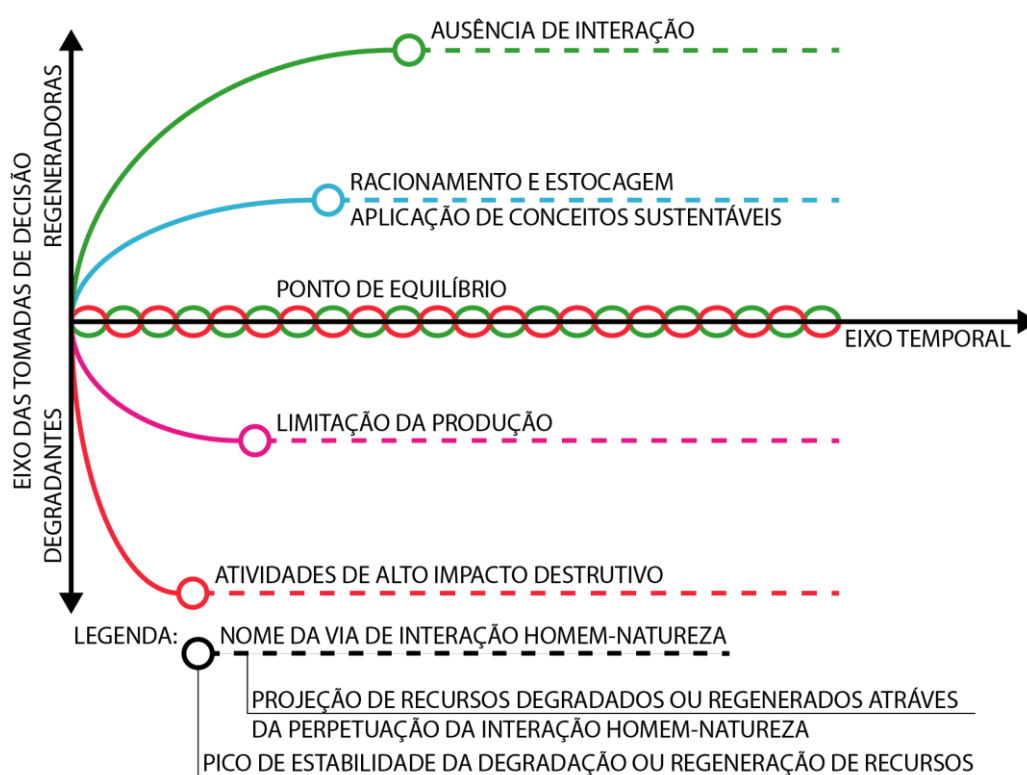
Para que esses seres sejam abarcados com tais mudanças de ciclo, almejar o ideal pode ser uma forma poderosa de alterar o pensamento para algumas pessoas. Que começaram a entender que o ambiente opera por uma lógica diferente da esperada pelo homem (Reed, 2007). Em que a extração de recursos, sem uma perspectiva moderada, causa tanto a degradação natural de regiões quanto a escassez de diversas matérias-primas no longo prazo.

Para Ashby e Johnson (2010, p. 12), é importante definir como preocupação da sustentabilidade “atender às necessidades presentes sem comprometer as necessidades das gerações futuras”. O interessante de se estabelecer uma meta que gire ao redor da sucessão de gerações, é implicar que o caminho sustentável tende ao infinito. Então, a provação imposta pela atualidade não se trata de manter o estilo de vida hedonista e imediatista, visível no modo

de consumo da população, mas garantir condições ambientais para que os sucessores tenham algo o que herdar.

Ao definir o objetivo de trilhar um caminho viável às futuras gerações, é necessário compreender até que ponto o ser humano está disposto a desistir de impor suas vontades em prol de uma meta que visa o futuro de sua espécie. Assim, segundo Pinho e Zandomeneghi (2024), a espécie humana tem o potencial de interagir com o meio ambiente conforme a sua relação com as matérias-primas por cinco vias, (Figura 2), instigando a reflexão a respeito do caminho mais viável considerando o pensamento sustentável:

Figura 2: Ação antrópica x tempo



Fonte: Adaptada de Pinho e Zandomeneghi, (2024)

- Atividades de alto impacto destrutivo – são ações que afetam o ambiente em um curto período com uma intensidade catastrófica (guerras, processos extrativistas, desastres naturais, entre outros);
- Limitação da produção devido a legislações – pautam o limite produtivo de um trabalhador ou empresa/indústria através de legislações ou acordos diplomáticos diversos;
- O ponto de equilíbrio – é o estado em que existe o balanceamento entre extração e reposição de recursos. Sendo o mais difícil de alcançar por fatores abarcados pelos

pilares sustentáveis como cultura, disponibilidade de matérias-primas e seu ciclo de renovação, relações diplomáticas, entre outros. Portanto, sua taxa de implantação pode ser considerada baixa ou praticamente impossível à medida que se amplia a área de implantação;

- O quarto nível pode ser dividido em:
 - Racionamento e estocagem – popular em países com períodos de colheita de alimentos muito limitados por interferências climáticas sazonais (inverno rigoroso, período de alagamento devido às chuvas, secas intensas, entre outros). Onde se busca atingir uma meta de produção para a sobrevivência de um determinado povo em períodos de adversidade que perduram por diversos meses. Sugerindo que essa maneira de interagir com o ambiente também implica na ausência do ser humano por determinado tempo, renunciando ao seu poder de modificar a realidade para sobreviver aos ciclos naturais. De modo a destacar a importância que esses períodos têm no desenvolvimento de aspectos que moldam toda uma cultura, já que a escassez faz com que aqueles que a enfrentam, tenham que se adaptar para conduzir essa situação da melhor maneira possível;
 - E a aplicação de conceitos sustentáveis – que busca retomar o ponto de equilíbrio por observação de indicadores que mostram um cenário catastrófico para a perpetuação da vida na Terra. Assim, sendo aplicado em sociedades nas quais suas culturas não vivenciam com frequência a realidade da escassez de recursos.
- E a ausência de interação, que oferece oportunidade à natureza manter ou restaurar seu estado inicial. Que pode ocorrer pela suposta extinção do ser humano, o que leva a ausência de ações antrópicas sobre o ambiente, ou pela aplicação das estratégias de quarto nível.

Logo, a relação do homem com a natureza pode ser medida de acordo com dois parâmetros principais: (1) A intensidade da atividade realizada pelo homem no ambiente; (2) O tempo disposto para a realização de tal operação (Pinho e Zandomeneghi, 2024). Dessa forma, é possível avaliar a explosão de uma bomba nuclear como uma atividade humana de baixo alcance temporal, entretanto este artefato consegue exercer uma pressão destrutiva imensa no ambiente em pouco tempo. Enquanto, a coleta de latas de alumínio, voltada para a regeneração

do ambiente, apresenta um saldo positivo nas relações homem-natureza, mas necessita de muito tempo para alcançar um efeito similar à bomba nuclear.

Portanto, podem ser listados como componentes fundamentais para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis a interação entre os pilares da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) junto ao manejo responsável do tempo (Pinho e Zandomeneghi, 2024). Visto que atitudes impulsivas e sem planejamento podem criar um problema grave em um átimo. Com isso exposto, para que a sociedade consiga operar dentro da lógica sustentável é preciso que o ser humano procure e adote ações para compensar o meio ambiente, como forma de redenção perante a natureza.

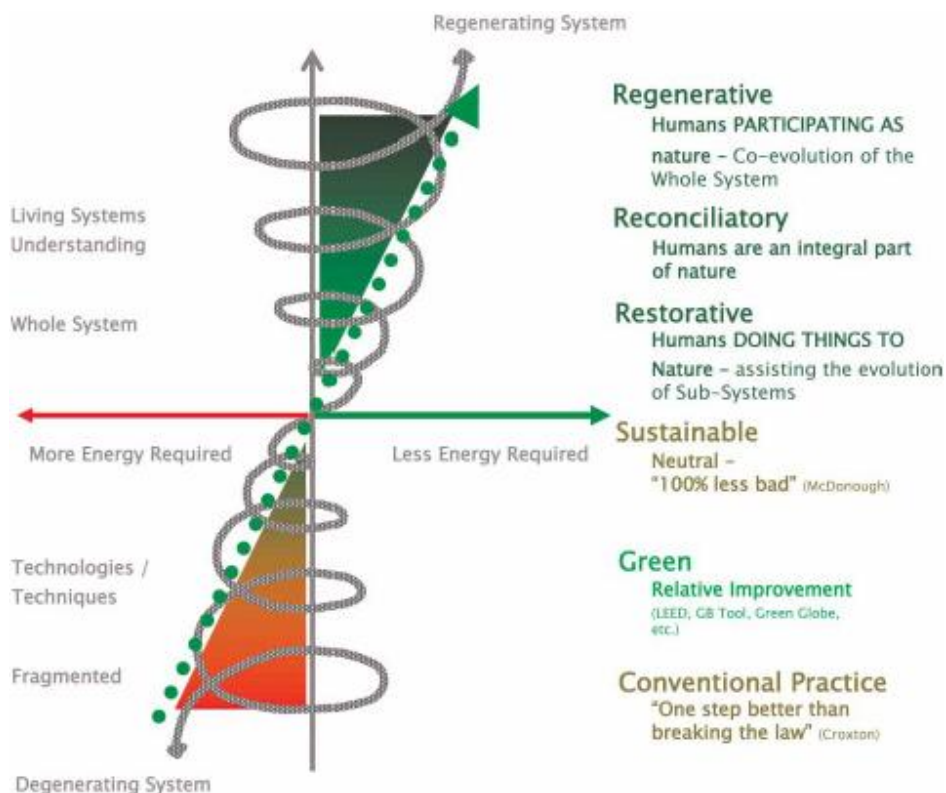
O design para a sustentabilidade pode ser utilizado como uma ferramenta para esse fim. No contexto das cadeias produtivas, segundo Manzini e Vellozi (2011), seria a realização de atividades industriais com o pensamento voltado para a redução drástica de recursos empregados quando comparados com a atualidade, respeitando as dimensões que compõem as premissas sustentáveis.

Já para Reed (2007), é necessário alcançar um modelo produtivo que permita a reposição de recursos naturais, tendo sua prática colocada no design como “*Regenerative design*”. Este autor compreende a sustentabilidade como o correspondente ao equilíbrio entre a degradação e regeneração do ambiente, não resultando na melhora das condições correspondentes aos pilares ambiental, econômico e social. Pois, apenas equilibrar os cálculos entre extração e reposição de recursos não é o suficiente para que problemas ambientais sejam reduzidos ou solucionados. Logo, a sustentabilidade pode ser vista, por essa linha de raciocínio, como um paliativo a curto prazo. O que não traz satisfação àqueles que buscam a melhoria das condições terrestres.

Por essa linha, Reed (2007) coloca o design como um agente ambivalente dentro das dinâmicas: homem-natureza e regeneração-degeneração. Pois, ao estar incluso nos processos de fabricação o design é responsável por atuar nas piores e melhores soluções para demandas humanas, agindo a favor e contra a manutenção dos pilares sustentáveis. Assim, o *Regenerative design* só será possível caso exista um movimento que adote os patamares que servem como pré-requisitos para a implantação do pensamento regenerador. Que são a aplicação do *Restorative design* em um recorte menor, cuidando dos sistemas de suporte de vida locais para manejá-los de modo autogerido. Passando, posteriormente, pela constatação que o homem e esses sistemas, por ocuparem o mesmo universo, devem ser vistos como parte integrante um do

outro, de maneira a colocar a natureza como um aspecto importante na vida humana. Assim, aplicando o *Reconciliation design* (Figura 3).

Figura 3: Trajetória do design ambientalmente responsável



Fonte: Bill Reed (2007)

Logo, o *Regenerative design* pode ser descrito como uma das ações de redenção humana perante o ambiente, constatando as relações entre o homem e a natureza. De modo a aplicar mudanças restauradoras em um panorama mais amplo.

2.1 Os pilares sustentáveis

Portanto, a sustentabilidade apresenta fatores que podem divergir entre autores (Ashby e Johnson, 2010; Manzini e Vellozi, 2011; Pinho e Zandomenighi, 2023, 2024; Reed, 2007; Santos *et al.*, 2018a; 2018b; 2019), mas um fator é comum entre eles, a preocupação com o futuro. Por isso, é importante elencar as possíveis escalas de impacto que uma camada sustentável tem no contexto moderno. Para tanto, é preciso começar a explicação a partir da menor parcela que compõe uma sociedade, o indivíduo.

Tal ser possui índices de impacto ambiental insignificantes se convertermos o seu gasto individual em recursos extraídos e a poluição proveniente dessa coleta de material. O problema ocorre quando a quantidade desses pequenos seres demanda mais do planeta, do que ele pode

oferecer. Assim, o impacto do grupo pode ser medido pela articulação consciente ou inconsciente que têm com seus semelhantes.

Já que cada cultura possui costumes distintos, é aceitável presumir que nem todas as organizações sociais representem um risco ao planeta. Entretanto, à medida que esses grupos replicam costumes, demandas e metas próprias da organização ao redor de cadeias industriais, maior será a probabilidade que repercussões negativas no meio ambiente ocorrerem.

Portanto, o indivíduo pode exercer seu poder de modificação do ambiente limitado às localizações geográficas que tem acesso. Já um grupo articulado pode influenciar outros a replicarem seus costumes por diversas vias. Dessa forma, à medida que mais indivíduos se associam, maior o impacto que eles podem ter no planeta. E, por ser na contemporaneidade, a época com a maior socialização entre indivíduos, nada mais esperado que a globalização de padrões de vida (Lipovetsky, 2007) tenha repercussões a nível internacional.

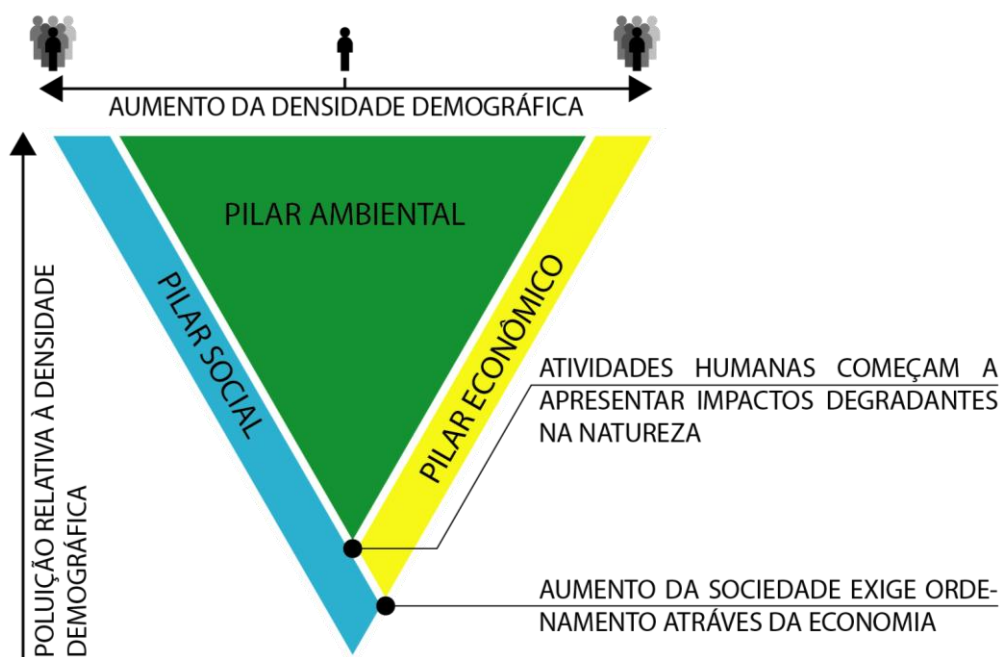
Por essa divergência entre culturas, costumes e línguas é necessário que a sociedade global encontre uma maneira universal de se comunicar. É por essa exigência que o pilar econômico tem um papel tão importante na vida humana. Já que ela ordena recursos e prioriza ações a serem realizadas, além de se pautar em uma das ciências mais relevantes da história, a matemática. Assim, essa linguagem realiza o feito de solidificar relações intergrupos e entre indivíduos, podendo ter repercussão tanto local quanto global.

Por fim, a camada ambiental pode ser considerada um quadro que recebe novas pinceladas a cada movimentação proveniente dos pilares social e econômico. Pois, os indivíduos, como já explicado, modificam a geografia que tem acesso e a economia os organiza, permitindo o levantamento de tendências de mercado que alteram o pilar ambiental.

Portanto, essa análise indica a relevância que uma alteração entre os pilares pode ter na Terra. Pois, ao se relacionarem em uma escala global, através da economia, o indivíduo obtém o poder de consumir diversas mercadorias vindas de praticamente qualquer lugar do mundo.

Essas ações quando reverberadas inúmeras vezes apresentam repercussões nos pilares sustentáveis, oferecendo uma carga especial ao pilar ambiental, que antes era impossibilitada pelas limitações tecnológicas. Logo, a natureza responde aos estímulos dos demais pilares apresentando repercussões que, apesar da aparente desarticulação com o todo, pode interferir no universo que a raça humana habita (Figura 4).

Figura 4: Repercussões derivadas do aumento de densidade populacional



Fonte: Autor (2025)

Dessa forma, a quantidade de pessoas é proporcional a coordenação para ordená-las e aos índices de poluição associados a elas. Onde a econômica, influencia os consumidores a estabelecerem tendências que modificam a realidade, repercutindo no ambiente as consequências dos seus padrões de consumo. Logo, é preciso entender como os pilares sustentáveis devem se relacionar, permitindo a construção de futuros que aceitem a presença humana nele.

2.2 A relação entre pilares

A economia está atrelada à sociedade, pois é um campo de estudo desenvolvido por seres humanos para servi-los. Então é esperado que a estratégia de design para a manutenção saudável entre esses elementos seja a sustentação entre eles. Pois, como Reed (2007) sugere, a sustentabilidade trata-se de equilibrar os cálculos entre degradação e regeneração, aqui aplicadas entre as camadas econômica e social. Que estabelece como parâmetro principal de qualidade o bem-estar do trabalhador para que ele possa retribuir ao seu empregador, com eficiência, nas tarefas que executa. Isso pode ser atingido com a melhoria das condições de trabalho, quando possível, e no aprimoramento do poder de compra dessa mão de obra. Já que é a partir do poder de consumo que o ciclo econômico pode ser executado e mantido.

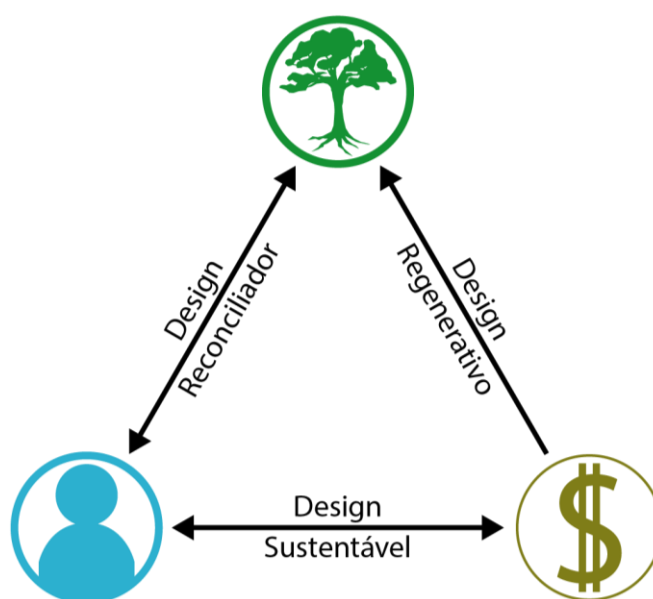
Já o ambiente e a sociedade devem estabelecer um laço de reconciliação. Uma vez que, para Reed (2007), compreender o indivíduo como componente de algo maior do que ele, o leva

a refletir sobre um dos seus papéis a desempenhar na Terra, o de gerenciador de recursos (Pinho e Zandomenghi, 2024). Neste contexto, tal interpretação reforça o conceito de Antropoceno, definido por Mendes (2020) como o impacto que o ser humano tem como principal responsável pelas alterações geológicas na contemporaneidade. Portanto, a elucidação do indivíduo como alguém essencial para a manutenção do planeta é necessária. Já que sua atuação em níveis locais e globais, o levam a ter agência tanto na preservação do meio ambiente quanto na formação de pessoas preocupadas com essas questões.

Por fim, a relação mais conflituosa se dá pelas camadas ambiental e econômica. Pois é necessário realizar a extração de recursos para conceber ou para manter a infraestrutura moderna. Nesse sentido, a natureza sempre terá seus recursos tomados. Por isso, o grande desafio da camada econômica é estabelecer uma relação regenerativa (Reed, 2007) consonante com as atividades executadas pelo seu setor na melhoria das condições ambientais. O que pode ser compreendido como o aumento de decisões regenerativas em detrimento das degenerativas.

Logo, percebe-se que as medidas devem ter como prioridade incontestável a manutenção do universo que deve ser preservado, no caso a Terra. Já que as ações tomadas pelos outros pilares são tangíveis na camada ambiental. Em seguida, a preocupação deve se voltar para a manutenção da economia, pois é através dela que são ordenados grupos de pessoas. Em que seu desafio principal é a manutenção de boas condições de trabalho, quando possível, e a promoção de medidas de cunho regenerativo em relação ao ambiente (Figura 5).

Figura 5: Interação entre os pilares sustentáveis com base em Reed (2007)



Fonte: Autor (2025)

Sendo assim, é possível perceber que as movimentações voltadas para a aplicação da sustentabilidade visam beneficiar as condições de vida humana no futuro (Ashby e Johnson, 2010; Manzini e Vellozi, 2011; Pinho e Zandomeneghi, 2023, 2024; Reed, 2007; Santos *et al.*, 2018a; 2018b; 2019). Entretanto, de acordo com a percepção do autor deste documento, ao rebaixar a relevância do pilar social, isso leva o indivíduo a priorizar a manutenção de um pensamento solidário perante o ecossistema. Já que as condições na naturais e econômicas interferem ativamente no padrão de vida das pessoas. Em que o ambiente reflete as boas e más ações replicadas pelas pessoas e a economia oferece maneiras de ordenar grupos de maneira produtiva mais clara. Logo, as atitudes voltadas a essas camadas têm como última instância beneficiar a sociedade. O que gera resultados similares a todas as pessoas sem distinção.

3 O DESIGN E A CONSTRUÇÃO CIVIL

O processo de sedentarização humana foi possível, em grande parte, por avanços que permitiram que sociedades nômades criassem raízes em um único local. Assim, o desenvolvimento de técnicas ligadas à agricultura e a pecuária foram tão importantes quanto a aplicação dos princípios relativos à arquitetura e a engenharia. Logo, a criação de edificações foi um dos aspectos que permitiu à sociedade chegar ao patamar cultural e tecnológico atual.

Por isso, a construção civil é tão importante na contemporaneidade, de modo a influenciar todos os aspectos ligados a sustentabilidade, já que esse setor pode consumir de 20 a 50% da totalidade dos recursos naturais (Matos e Guimarães, 2017). O que afeta a Terra e seus habitantes, contribuindo para o desenvolvimento de uma teia abrangente e complexa relacionada aos inúmeros agentes ligados a essas atividades ao redor do planeta. Que por sua vez acabam retardando as mudanças necessárias para se alcançar a sustentabilidade.

No entanto, é essa interdependência entre os agentes de um setor produtivo que habilita uma possível mudança. Pois, para Kazazian (2005), cada fenômeno ecoa na estrutura do qual faz parte, requerendo do sistema adaptações que ocorreram cedo ou tarde com diferentes intensidades, o que pontua a partida para mudanças posteriores. É claro que isso pressupõe uma adaptação, já que mudanças implementadas sem embasamento tem maior probabilidade de fracassar.

Logo, apesar da ligação direta que o setor da construção civil tem com as dimensões relativas à sustentabilidade, Carvalho *et al.* (2022) questionam as razões que enrijecem a aplicação de mudanças que devem ser feitas para uma alteração palpável da realidade. Essa complexidade acaba por oferecer ao setor um certo grau de estabilidade. Já que, a imensa

quantidade de recursos envolvidos (material, humano e tecnológico) podem causar, em certa medida, uma apatia para mudanças relacionadas às premissas sustentáveis. Uma vez que a alteração de uma única peça pode desestabilizar diversas linhas de produção que dependem do setor da construção civil.

Esse é o caso do cimento, utilizado de maneira difusa em diversos tipos de edificações e etapas de uma obra (Matos e Guimarães, 2017). Porém, essa popularidade resulta em altas emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, que conferem médias globais entre cinco e sete por cento relacionadas às indústrias de cimento Portland (Matos e Guimarães, 2017). Com isso, é possível esboçar os impactos que a construção civil tem no mundo. O que não exclui os outros rejeitos produzidos por esse setor, que são compostos por materiais de construção e demolição de edificações, além da escavação ou limpeza de terrenos (Lima e Santos, 2020). De modo a ter, somente no Brasil, uma correspondência “de 50 a 70 % da massa de resíduos sólidos urbanos” (MMA, 2012, p. 20). Logo, é possível perceber o efeito prático que o setor tem na modificação do planeta, contribuindo para os estudos que apontam o Antropoceno como era geológica correspondente a atuação da humanidade como seu principal agente de mudança (Crutzen e Stoermer, 2000).

O que resulta na constatação que uma das maiores preocupações da sociedade contemporânea é não saber lidar com as dificuldades ambientais (Soares *et al*, 2020), geradas por um histórico de atividades degradantes à natureza, intensificado pelos padrões modernos de consumo.

Então, aqueles que possuem autoridade em cadeias produtivas devem começar a adequar seus ambientes de trabalho para atender aos padrões de soluções exigidas pela modernidade. De modo a enfatizar que grande parcela das respostas tomadas para problemas ambientais gira ao redor de medidas preventivas (Gottardi *et al*, 2021), sendo aquelas com o maior potencial de oferecer mudanças no âmago industrial ou em setores com índices de poluição similar. O que refina e dificulta a aplicação de soluções sustentáveis.

Por essa razão, é necessário reduzir a extração de recursos, além de posteriormente remanejar as matérias-primas já utilizadas nessas cadeias em processos de reutilização (Carvalho *et al*; 2014; Lima *et al*; 2018; Santos e Zandomenighi; 2024). O que envolve o planejamento e descoberta de finalidades possíveis para diferentes rejeitos, destinando produtos categorizados como lixo, além do desenvolvimento de mercadorias que atendam aos princípios de reutilização.

Dessa forma, o caminho que abarca as considerações de Carvalho *et al.* (2014), Lima *et al.* (2018) Gottardi *et al.* (2021), Santos e Zandomenghi (2024), envolve alterações em hábitos de consumo (Pinho e Zandomenghi, 2023), a desmaterialização de produtos, mudanças em cadeias produtivas diversas e o comprometimento com avanços tecnológicos voltados para o trajeto desejado, entre outros fatores não abordados nesse estudo.

Portanto, mesmo ao saber do impacto industrial no meio ambiente, é possível que as respostas demorem a desabrochar como mudanças palpáveis. Pois, uma parcela significativa dessas transformações envolve tanto mudanças nos processos internos e externos dessas cadeias, quanto o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a desmaterialização ou redução no uso de matérias-primas em atividades poluentes. Além disso, a promoção de diálogo entre gestores de cadeias distintas estabelecendo ligações entre elas, culminando na aplicação do conceito estabelecido por Manzini e Vezzoli (2011) da simbiose industrial.

O designer, assim como outros profissionais que transitam entre esses ambientes, tem um papel importante nos movimentos que conduzem a alteração das cadeias produtivas (Pinho e Zandomenghi, 2024) por estarem envolvidos na produção de grande parte dos artefatos.

Embora o designer tenha como grande parcela do seu trabalho materializar produtos, suas soluções, por outro lado podem incluir desfechos para conflitos que fogem do campo físico (Lima *et al.*, 2018). O que lhe confere, segundo Soares *et al.* (2020, p. 81081), o título de “mediador da aplicação do material”, em que esse profissional idealiza soluções imateriais que apresentem repercussão na matéria, seja em produtos ou no ambiente da resolução aplicada (Lima *et al.*, 2018). Característica que faz o designer oferecer “responsabilidade sobre a origem e o destino daquilo que fora produzido” (Gottardi *et al.*, 2021, p. 62).

Logo, o design entra em uma fase em que produtos não podem apenas solucionar os problemas para os quais foram projetados para resolver, mas agregar novas funções com o objetivo de prolongar o ciclo de vida desses artefatos (Cardoso, 2012), ou mesmo de objetos. Em que diversos setores, como o da construção civil, devem apresentar uma relação mais equilibrada e harmoniosa com o ambiente em que estão. De modo a recorrer a materiais regionais e soluções alternativas para conceber não só mercadorias, mas também serviços que tenham um relacionamento benéfico para o meio ambiente (Kazazian, 2005).

Assim, a eficácia de uma solução é precedida por estudo e planejamento executado através de mudanças no âmbito das cadeias produtivas. Que podem ser, na visão do autor após uma análise de Manzini e Vezzoli (2011), baseadas nas dinâmicas classificadas como:

- Resolução por terceiros – que aborda tanto relações diplomáticas quanto avanços tecnológicos. Em que os gestores recorrem a práticas colaborativas com o intuito de refinar seus processos internos com o auxílio de um agente externo. Como exemplo na terceirização de serviços, ou no processo de franqueamento de uma determinada marca. Além disso, a pesquisa por soluções inovadoras e que incentivem o estabelecimento de relações saudáveis entre linhas de produção distintas também é um exemplo de mudança de relacionamento.
- Alteração interna – que corresponde na adoção de mudanças na linha de produção e no relacionamento entre elas, simultaneamente. O que prevê compartilhamento de técnicas desenvolvidas e a interferência externa em processos internos de uma cadeia produtiva.

Então, o anseio de materializar para desmaterializar promove a alteração interna. Pois, como o almejado são medidas preventivas (Gottardi *et al.*, 2021) que correspondem as etapas de projeto do design, isso aplica restrições para atender aos requisitos desejados (Lima *et al.*, 2018). Isso exige uma seleção de materiais coerentes com as exigências impostas por aquela demanda (Lima *et al.*, 2018).

Por isso, a pesquisa e o posterior desenvolvimento de materiais serve aos designers como uma ampliação no modo de solucionar problemas (Ashby e Johnson, 2010). O que acaba ampliando o leque de interação que esse profissional tem de tocar a realidade através do seu imaginário de soluções, expandindo as maneiras de resolver uma demanda. O que pode incluir as implicações de teor sustentável.

Portanto, é necessário determinar como as propriedades dos novos materiais interagem com as cadeias produtivas atuais, questionando os possíveis requisitos para a sua utilização (Soares *et al.*, 2020). Além de prever quais características do setor da construção civil podem permanecer inertes, oferecendo uma mudança mais lenta. Que, no entanto, tem maiores chances de serem aplicadas com sucesso por exigirem menor esforço para conquistar a meta. Dessa forma, a aplicação subsequente de alterações em produtos e métodos de produção são sempre menores em comparação às mudanças anteriores e, ao mesmo tempo, radicalmente distintas do estado inicial daquela cadeia produtiva (Kazazian, 2005).

3.1 Compósitos: Os pais dos novos materiais

Como dito, pesquisadores e designers tem a oportunidade de mudar a realidade através do estudo de materiais (Ashby e Johnson, 2010; Soares *et al.*, 2020). Embora, as cadeias

produtivas sejam rígidas, soluções intermediárias devem ser incentivadas. Pois, ao se modificar elementos de um sistema, a probabilidade dele se adequar melhor a uma posterior intervenção aumenta (Kazazian, 2005). Já que o ambiente foi previamente cultivado para que aquele *modus operandi* pudesse se estabelecer em algum momento.

Segundo Callister (2000), existe uma necessidade combinar propriedades específicas que, em muitos casos, não são atendidas por ligas cerâmicas, metálicas ou de materiais poliméricos comuns. O que exige o desenvolvimento de elementos que atendam a lista de exigências para uma determinada função. Esse é o caso das pesquisas em materiais que procuram desenvolver compósitos, visto que a busca por elementos que apresentem conjuntos de características incomuns é um requisito das demandas modernas (Callister, 2000), tanto no consumo quanto no desenvolvimento de tecnologias.

Logo, um compósito pode ser definido “por uma mistura de fases macrocomponentes compostas de materiais que estão num estado dividido e que, geralmente, são diferentes sob os pontos de vista de composição química e forma” (Chiaverini, 1986, p. 356). Que, também apresenta “uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que a constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades” (Callister, 2000, p. 359). Para cada fase do material compósito é definido um termo (matriz, reforço, fase dispersa) que explica qual sua contribuição para o novo elemento. Onde a matriz é correspondente ao elemento de ligação e o reforço é aquele que confere resistência à mistura resultante (Moreira, 2009).

Callister (2000), por outro lado, desenvolve a conceituação desses elementos com outras palavras:

“Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases; uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada frequentemente de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa” (Callister, 2000, p. 359).

Além disso, outros fatores podem interferir nas propriedades manifestadas por um compósito podendo variar desde a distribuição dos elementos dispersos no interior da matriz até as reações químicas que podem ocorrer devido à interação dos materiais resultantes ou com o ambiente (Callister, 2000). Logo, a pesquisa que almeja desenvolver esse tipo de material exige cautela e um trajeto metodológico bem planejado para evitar a distorção de dados e a apresentação inconclusiva de resultados. Por isso, é importante compreender como as pesquisas

em compósitos são desenvolvidas e quais as razões que incentivam a recorrência do tema no contexto acadêmico.

3.2 Pesquisa em compósitos

Na busca pelo reaproveitamento de “embalagens de papel kraft (sacarias de cimento e cal)”, Carvalho *et al.* (2014, p. 2633) realizaram uma pesquisa para a incorporação desses invólucros em compósitos cimentícios. Dessa forma, os autores estabeleceram o cimento como elemento matriz e as embalagens de papel kraft como sua fase dispersa.

Em que esses materiais se adequam à justificativa da pesquisa por incentivar a redução na geração de resíduos e, caso o rejeito seja produzido, os esforços são revertidos para a reutilização dos materiais descartados (Carvalho *et al.*, 2014), no contexto desse estudo referente às embalagens de kraft. Logo, o objetivo do estudo foi expandir o conhecimento sobre os invólucros, apresentando informações desse material, assim como das propriedades obtidas após os testes realizados pelos autores.

Quanto aos resultados alcançados, constatou-se que a baixa absorção de água foi decorrente da presença de tinta e cola utilizadas no processo de confecção das embalagens. O que pode comprometer propriedades “de alongamento e resistência da fibra, pois enrijecem sua estrutura” (Carvalho *et al.*; 2014, p. 2638). Embora essa característica possa representar um elemento desfavorável para a produção dos compósitos cimentícios, os autores observam um imenso potencial de reaproveitamento proveniente das sacarias de papel kraft. Já que, apesar de existirem diversos papéis que realizem a função de embalagem para cimento e cal, as propriedades das fibras não aparentam ser modificadas por esse fator.

Já Cristina *et al.* (2018) almejou agregar mais um ingrediente à matriz de solo-cimento, sendo o material conhecido por *Luffa Cylindrica*, *Luffa Aegyptica* e bucha vegetal que é cultivada ao redor da Terra.

O estudo foi justificado por apresentar uma opção de material útil às demandas da construção civil. De modo a oferecer uma opção ao setor que reduza a degradação ambiental a partir do uso de outras matérias-primas não prejudiciais à natureza, além da diminuição dos custos das construções. Assim, desenvolvendo um material alinhado com os pilares sustentáveis, resultando em melhorias nas esferas ambiental, econômica e social.

O que culminou no objetivo da pesquisa quanto à avaliação das propriedades físicas e mecânicas que a *Luffa Cylindrica* e o que ela pode oferecer aos tijolos de solo-cimento,

demonstrando seu potencial como alternativa de material no setor da construção civil em edificações de pequeno porte.

Para Cristina *et al.* (2018, p.16) “os resultados dos ensaios da absorção da água e da resistência a compressão dos tijolos, apresentaram resultados satisfatórios, quando comparados pela norma”. Embora, os autores documentem que o método escolhido “pode ter interferido no ensaio da resistência” pelo “alto grau de umidade por não ter secado o tijolo de forma correta.” (Cristina *et al.*; 2018, p.14). Esse dado é corroborado por Santos e Zandomeneghi (2024) que estabelecem a presença de água como um fator determinante para a resistência de corpos de prova que utilizem cimento e água como componentes, o que é o caso no estudo de Cristina *et al.* (2018). Logo, quanto maior a quantidade de água retida no corpo de prova, menor resistência ele apresentará nos testes, estabelecendo uma relação inversamente proporcional entre a água e cimento utilizado (Santos e Zandomeneghi, 2024).

Por fim, apesar dos resultados não serem conclusivos quanto à utilização de bucha vegetal em matrizes de solo-cimento, é inegável que o compósito exposto pelos pesquisadores tem o potencial de apresentar resultados mais consistentes caso os testes sejam replicados no ambiente específico.

Evangelista *et al.* (2021) desenvolveram uma revisão sistemática de literatura em busca de fibras naturais que pudessem reforçar matrizes frágeis, no caso o gesso. Nessa pesquisa, os autores identificaram como componentes da fase dispersa as fibras de “sisal, cânhamo, erva marinha *Possidonia oceanica*, madeira de pinho, lignina, palhas de linho, coco e lã de ovelha” (Evangelista *et al.*; 2021, p. 147).

Essas fibras, segundo os autores, têm diversas justificativas para o uso em matrizes de gesso, que giram ao redor da disponibilidade, dos possíveis malefícios que essas fibras podem causar à natureza ou ao bem-estar do homem, além de serem resíduos de outras cadeias produtivas. Assim, a partir da revisão sistemática de literatura, os estudiosos tinham como objetivo catalogar e avaliar estudos, no período de cinco anos, que apresentavam compósitos tendo o gesso como elemento matriz e fibras naturais como componentes correspondentes à fase dispersa, além de levantar as propriedades que os materiais compósitos apresentavam.

Por se tratar de um estudo que aglomera outras pesquisas, os pontos de avaliação entre os compósitos não possibilitam uma comparação direta entre eles. Já que cada pesquisador teve seus próprios trajetos metodológicos e focos de análise. Mas os autores elencam quais fibras apresentam performances satisfatórias, irrelevantes e piores em relação à matriz de gesso. Que

correspondem, respectivamente, às fibras de coco, palha de linho e ervas de *Possidonia oceânica*.

O interessante desse estudo, em específico, é elencar uma pesquisa que utiliza uma espécie marinha que tem características como odor desagradável e estética repulsiva à espécie humana como alternativa para a criação de um compósito. Mesmo que os resultados desse componente particular tenham passado longe do satisfatório, essa pesquisa amplia a visão de estudiosos e quais limites podem ser transpostos na busca por novos compósitos.

Assim como Carvalho *et al*; (2014), Lima (2020) decidiu como elemento de análise do seu estudo a estruturação de um compósito de solo-cimento, como elemento matriz, e um material residual proveniente da construção civil, como elemento correspondente à fase dispersa. Em que os materiais escolhidos foram resíduos da construção civil (RCC).

Portanto, a reutilização de RCC busca reduzir a extração de matérias-primas, reduzindo o impacto ambiental causado pelo setor, além de reduzir o valor final da obra. Uma vez que tanto o solo-cimento quanto o RCC possibilitam a aquisição de materiais de construção pelas camadas populares, permitindo que essas pessoas tenham a autonomia para edificar seus lares e empreendimentos. Logo, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar compósitos de solo-cimento e RCC, como um recurso viável na produção de tijolos, que atendam demandas em edificações populares servindo como alvenaria na capital do Maranhão, São Luís.

Os testes revelaram que o solo usado para a confecção do solo-cimento apresentou um fator determinante para a adequação correta do produto confeccionado com as normas catalogadas pelos pesquisadores. Além disso, foi demonstrada a relação direta entre a quantidade ou a granulometria do RCC com a fragilidade dos corpos de prova. Já que, quanto maior a quantidade ou a granulometria do RCC, maior a ocorrência de superfícies porosas no corpo de prova. O que interfere diretamente nos índices de absorção de água, que são inversamente proporcionais à fragilidade dos corpos de prova. Ou seja, quanto mais resistente a amostra for, menos água ela irá reter.

Portanto, os compósitos que apresentaram o melhor desempenho para a utilização em edificações populares, foram os que tinham RCC com porcentagens que correspondem de 20 a 40% da mistura, com granulometria entre 2,83mm a 2,00mm. Além disso, o solo que recebeu destaque por parte de Lima (2020) foi 01, caracterizado como arenoso. Os resultados tiveram como normas de análise a NBR 8491, NBR 8492, NBR 12024, além das considerações da Associação Brasileira de Cimento Portland.

Santos *et al.* (2017) desenvolveram sua pesquisa com inúmeros materiais componentes para a produção da matriz:

- 33% de cimento Portland CP II F-32;
- 27% de metacaulinita;
- 40% de cinza volante.

Em seguida, essa matriz foi acrescida de um “aditivo superplastificante de terceira geração a base de éter policarboxílico”, “um agente modificador de viscosidade a base de polímeros” e “agregado natural, de origem fluvial e composto de quartzo” (Santos *et al.*; 2017, p. 3). Em que o agregado natural pode ser substituído pelo reciclado, proveniente da demolição de um edifício, correspondendo 10 e 20 por cento da massa da mistura. Enquanto a fibra de sisal correspondeu a fase dispersa.

Os testes desenvolvidos nesses compósitos levaram a resultados relativos a influência do agregado reciclado, que permitiram às misturas que não apresentavam a fibra de sisal um comportamento mecânico mais desejado. Já que os experimentos ligados a resistência mecânica apresentaram resultados quase idênticos entre as amostras de referência, sem adição de fibra de sisal, que apresentavam variação no peso correspondente a 10 e 20 por cento da massa da mistura. Logo, a adição de agregado reciclado não compromete as propriedades estudadas pelos pesquisadores. Por outro lado, a adição das fibras de sisal apontou uma constante relativa a redução da resistência mecânica das misturas das quais fizeram parte. Mas, segundo Santos *et al.* (2017), os resultados desfavoráveis não excluem nenhum dos corpos de prova produzidos como alternativas viáveis para o setor da construção civil.

Santos e Zandomeneghi (2024), buscaram desenvolver compósitos com diferentes proporções entre os materiais:

- Cimento Portland tipo CP-IV-32 proveniente da empresa Bravo;
- Resíduos provenientes da bauxita, ou coproduto da alumina.

Logo, Santos e Zandomeneghi (2024, p. 71), delimitaram como objetivo da pesquisa “desenvolver um processo viável e eficiente para a aplicação dos resíduos provenientes da bauxita, com o propósito de transformá-los em novos produtos com o auxílio do emprego das ferramentas do *design*”.

Com esse objetivo em mente, o desenrolar do estudo proposto pelos autores constatou que as amostras produzidas possuem resultados favoráveis em relação a resistência à

compressão. Onde os valores médios obtidos pelas amostras ultrapassaram 2 MPa (20 kgf/cm²). Além disso, todos os corpos de prova foram classificados como não inertes, ou seja, eles não oferecem risco ambiental preocupante, permitindo aplicações em diferentes usos. Este último resultado demonstra que, apesar do coproduto da alumina possuir características alcalinas, portanto perigosas, a sua mistura ao cimento diminuiu a agressividade que esse rejeito tem de impactar negativamente o meio ambiente.

Por fim, o estudo percebe a viabilidade dos corpos de prova em misturas de argamassa. Em que, as amostras atendem aos critérios de resistência à compressão determinados na NBR 8491 e não oferecem risco ambiental preocupante, de maneira a fornecer uma destinação viável para a fabricação de pisos, produto demonstrado no estudo.

Portanto, é possível perceber que as pesquisas em compósitos apresentam um âmbito ligado a recuperação da condição ambiental, tendo influência na vida humana através da melhoria do seu modo de vida a longo prazo. Com isso, certas pesquisas buscam desenvolver compósitos como uma maneira de reutilizar rejeitos tanto industriais quanto naturais para o benefício ambiental. Outros estudos apontam a intervenção econômica que esses materiais podem ter no mercado e no beneficiamento da autoconstrução para populações carentes.

Logo, o estudo de materiais compósitos possui intrínseca ligação com a preservação do meio ambiente, e apresenta repercussões em outros pilares da sustentabilidade. De modo a instigar pesquisadores a sempre tentarem ampliar o limite que cada material pode alcançar, com o objetivo de melhorar as condições do planeta, assim como a vida humana.

4 MATERIAIS

Considerando que a presente pesquisa precisa de validação quanto a qualidade do compósito produzido através de testes laboratoriais, é necessário aprofundar as propriedades dos materiais escolhidos para o desenvolvimento dos compósitos, assim como a razão para a sua seleção.

4.1 Cimento

O cimento, quando utilizado em edificações pode se apresentar de diferentes maneiras dependendo da finalidade. Para tanto, o cimento precisa ser misturado a outros componentes para alcançar a textura adequada para os diferentes propósitos de aplicação. Segundo Chiaverini (1986), este material cerâmico pode ser aplicado como:

- Pasta: mistura de cimento e água de menor resistência mecânica dentre as apresentadas por ele;
- Argamassa: mistura entre a pasta com o acréscimo de areia, agregado miúdo, grãos com cinco milímetros ou menos de diâmetro;
- Concreto: mistura entre a argamassa acrescida de agregados graúdos, com diâmetro superior ao seu companheiro miúdo.

Além dessas maneiras de aplicação do cimento, existe uma que busca oferecer ao concreto uma melhoria em suas propriedades mecânicas de tração, através da sua associação com barras de aço, denominadas de “concreto armado” (Chiaverini, 1986), resultando em um material compósito.

Com base nas características e formas de aplicação explicitadas, acerca do material cimento, é que a presente investigação elegeu a argamassa, como matriz de ligação, considerando a possibilidade de modelagem para fins de aplicação em alvenaria não estrutural.

O cimento foi selecionado por apresentar as seguintes características:

- Ao atingir uma textura pastosa temporária na presença de água, permite que essa mistura, junto às fibras de coco, resulte em uma massa com distribuição de materiais homogêneo;
- Essa argamassa, também, por exigir um tempo entre a pega e o seu endurecimento permite conformá-la em padrões variados para confecção de corpos de prova menos trabalhosa;
- O cimento não necessita de um forno para endurecer, como acontece com outros materiais cerâmicos. Já que o enrijecimento do cimento não exige o cozimento da peça.

Diferente de outros similares desse material, o cimento endurece através de reações químicas de hidratação, apenas na presença de água para que o material se adeque a forma plástica estabelecida (Callister, 2000; Chiaverini, 1986). Assim, por exigir uma quantidade menor de equipamentos para a confecção da argamassa, isso permite ao pesquisador produzir uma quantidade de corpos de prova maior, sem depender da disponibilidade de máquinas como forno para realizar o processo de conformação condizente com o material matriz.

4.2 Coco verde (*Cocos nucifera* L.)

O consumo do fruto pode ser considerado um problema a infraestrutura urbana por gerar, no processo de descarte de sua casca, grandes quantidades de lixo que não possuem coleta

e/ou destinação adequada (Rosa *et al.* 2001; Santos *et al.*, 2008). Isso ocorre, pois, o líquido que antes preenchia o interior do fruto, agora se encontra vazio. Logo, pelo coco em certos casos não ter sido separado em bandas, acaba gerando um volume artificial de rejeitos que compromete o tempo de vida de lixões e aterros sanitários por ocuparem mais espaço do que aparentam.

Apesar de existirem estudos que indiquem o reaproveitamento desse resíduo (Costa, 2006), boa parte dos autores pesquisados descrevem essas iniciativas como tímidas em relação ao rejeito gerado e o seu reaproveitamento pós descarte.

Essa situação é agravada, uma vez que 80 a 85% do peso bruto do fruto ser considerado rejeito, mesmo após o consumo da água (Rosa *et al.* 2001; Rosa *et al.*, 2009; Santos *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2016; Veloso *et al.*; 2013; Corradini, 2009). Além disso, a casca do coco verde tem fortes características ligadas a durabilidade e resiliência (Senhoras, 2004; Veloso *et al.*, 2013).

Quando essas características são atreladas aos dados correspondentes a produção nacional, 1,6 bilhão de frutos (Brainer, 2021), passam a retratar como esse rejeito é prejudicial ao ambiente urbano. Já que o volume ocupado em aterros sanitários relaciona 125 cocos descartados a 1 m³ (Silva, 2014 Apud Cintra *et al.*, 2009). Logo, é possível estimar, através do cruzamento dos dados referentes à produção de coco verde brasileira e a quantidade de frutos correspondente a ocupação de 1 m³, que são destinados ao provável volume de 12,8 milhões de m³ para a acomodação desse resíduo, tanto em aterros sanitários quanto em locais de descarte indevido. O que gera, aos municípios que praticam a comercialização desse objeto, uma série de transtornos que oferecem riscos aos moradores das localidades, trazendo um conjunto de malefícios ao cenário urbano, como por exemplo (Rosa *et al.*, 2001; Silva, 2014; Souza *et al.*, 2015; Costa, 2006; Matos, 2017):

- A redução do tempo de vida útil de aterros sanitários, devido ao volume ocupado pelo rejeito;
- A contribuição para a propagação de enfermidades, por ter o potencial de reter água parada. O que oferece aos vetores de doenças ambiente propício para sua proliferação;
- Poluição de diferentes elementos naturais:
 - Ar – Já que o coco verde é uma matéria orgânica, ele apresenta o potencial de emitir metano;

- Solo – Uma vez que a decomposição concentrada pode deliberadamente reduzir, ou extinguir, por um tempo a utilidade daquela porção de terra;
- Água – Pois, depois que o solo tenha recebido materiais poluentes oriundos do coco, essas substâncias podem se deslocar para lençõs freáticos arruinando a usabilidade de uma possível fonte de água potável.
- Mau cheiro;
- Podem ser conduzidos para a rede de drenagem pluvial, causando obstrução de dutos e do trajeto planejado para a água, gerando alagamentos nos trechos com problemas de drenagem;
- Deterioração da paisagem urbana, entre outros malefícios.

Entretanto, esse conjunto de características também expõem o potencial que essa matéria-prima, subaproveitada, tem após o descarte. Já que, ao incorporá-la em um novo ciclo produtivo, existe a possibilidade de que os serviços relacionados à coleta e destinação inadequadas melhorem, por se tratar de um material que pode ser utilizado para confeccionar outros produtos. Isso ocorre como um reflexo natural da valorização do resíduo, que gera nos empreendedores a vontade de reaplicar ganhos na melhoria de suas respectivas cadeias produtivas. Isso também recai sobre aqueles que trabalham direta ou indiretamente com o coco verde. Tais conjunturas podem ser demonstradas através de outras pesquisas que relataram a utilização do rejeito do coco verde para outras finalidades (Quadro 3):

Quadro 4: Pesquisas sobre o uso do coco verde após o consumo

Uso	Referência
Telhas impermeáveis/isotérmicas	(Veloso <i>et al.</i> , 2013)
Tijolos com propriedades de “isolamento térmico, resistência a compressão e absorção de água”	(Veloso <i>et al.</i> , p. 95-96, 2013)
Chapas de isolamento térmico para uso em tetos e paredes	(Veloso <i>et al.</i> , 2013)
Componente para rações no ramo agroindustrial	(Veloso <i>et al.</i> , 2013)
Substrato agrícola e cobertura morta	(Rosa <i>et al.</i> ; 2011)
“Coir’, ‘bonote’ e fibra” são denominações dadas ao material fibroso do coco que pode ser usado para confeccionar diversos produtos distintos	(Rosa <i>et al.</i> , p. 12, 2011)
Briquetes	(Silveira, 2008)
Bebida, sabão, leite, óleo e outros diversos exemplos	(Costa, 2006)

Fonte: referências citadas no próprio quadro

Além de apresentar essa versatilidade de destinações possíveis, considerações sobre os valores de tensão de ruptura e módulo de elasticidade (Corradini, 2009), indicaram que às fibras do coco verde tem performances inferiores às de juta e sisal. Mas, o estudo também demonstra que o fruto tem potencial para integrar diversos compósitos, em que são usados polímeros naturais e sintéticos.

Portanto, ao expandir o leque de destinações possíveis para o rejeito do coco verde, maiores são as chances da redução desse material sem destinação adequada, amenizando os problemas citados devido ao grande volume descartado do fruto.

5 MÉTODOS E TÉCNICAS

O estudo é caracterizado por sua natureza aplicada, com abordagem quantitativa e, explicativa quanto a finalidade dos seus objetivos, na qual utilizou-se a revisão bibliográfica, documental, além da pesquisa de laboratório para obtenção de dados. Em que o desenvolvimento do material compósito proposto foi resultado dos procedimentos experimentais (Quadro 4).

Quadro 5: Caracterização da pesquisa

Parâmetros	Caracterização	Referências
Natureza	Aplicada.	(Dalfovo <i>et al.</i> , 2008)
Abordagem	Quantitativa.	(Dalfovo <i>et al.</i> , 2008)
Objetivo	Explicativa.	(Gil, 2002)
Procedimentos da pesquisa	Pesquisa bibliográfica; Pesquisa documental; Pesquisa de laboratório.	(Gil, 2002; Marconi e Lakatos, 2003)
Procedimento técnico	Experimental.	(Gil, 2002)

Fonte: Autor (2024)

A pesquisa, de natureza aplicada, envolve o desenvolvimento de um compósito utilizável em edificações na função de alvenaria não estrutural. Assim, a geração de conhecimento revela soluções aplicáveis na realidade demonstrando sua utilidade para a sociedade (Dalfovo *et al.*, 2008).

Por isso, no contexto da pesquisa, o uso da abordagem quantitativa foi adequado. Uma vez que os principais parâmetros demonstrados nesse estudo, tratam da comparação de variáveis aferidas em um ambiente controlado. De modo a demonstrar, com o máximo de precisão, resultados com baixa divergência entre os dados coletados (Dalfovo *et al.*, 2008).

Então, por ser um estudo que buscou esclarecer o comportamento da FCV misturada a argamassa para a criação de um compósito, a presente pesquisa pode ser caracterizada como explicativa. Por exigir a descrição de detalhes em um nível mais refinado, tanto durante a descrição do caminho percorrido, quanto para as informações resultantes dos testes (Gil, 2002).

Os dados relativos ao referencial teórico são decorrentes da pesquisa bibliográfica, que permitiu o levantamento de conhecimento já produzido por outros pesquisadores sobre os temas relacionados a este estudo (Gil, 2002). Já as informações referentes aos testes, foram coletadas por meio de uma pesquisa documental e de laboratório. Em que a pesquisa documental é

definida por Marconi e Lakatos (2003), como aquela que busca por documentos dos mais variados tipos tidos como fontes primárias. Já a de laboratório perquire informações com maior exatidão e dificuldade, exigindo com esse rigor equipamentos específicos e ambientes controlados. Assim, por se tratar de um material testado em laboratório, os procedimentos técnicos da pesquisa podem ser descritos por seu caráter experimental. Já que apresenta parâmetros rígidos para estabelecer relações entre as variáveis (Gil, 2002).

5.1 Levantamento de dados

A etapa de levantamento de dados compreendeu a pesquisa por estudos de teor científico e documental que buscaram elucidar questões sobre as temáticas ligadas ao referencial teórico e as etapas que foram realizadas em ambiente de laboratório. Além de fornecer diretrizes para a confecção dos corpos de prova e detalhar testes que foram realizados nas amostras.

Nesse sentido, houve a reunião de dissertações, artigos e livros ligados aos temas apresentados nas secções anteriores, de modo a esclarecer pontos sobre a sustentabilidade, o cenário atual da construção civil, a natureza dos compósitos, o detalhamento dos componentes usados nas amostras e maneiras de adquirir a FCV. Já a pesquisa documental agrupou Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) e outros documentos, que caracterizam os testes e os equipamentos.

Dessa forma, a etapa de levantamento de dados foi a base para determinar os procedimentos realizados.

5.2 Confecção dos corpos de prova

A etapa posterior ao levantamento de dados está voltada para a aquisição de materiais usados na composição dos corpos de provas, que podem ser divididos nas seguintes etapas: verificação de ferramentas, obtenção da fibra do coco, quantificação dos materiais e preparação dos corpos de prova.

5.2.1 Verificação de equipamentos

Como maneira de evitar problemas na etapa de laboratório, o pesquisador previamente realizou uma verificação dos espaços, equipamentos e materiais disponíveis com o objetivo de organizar e prever contratempos durante a confecção das amostras. Isso, não necessariamente remediou a ocorrência de imprevistos durante essa parte da pesquisa, algo que será abordado na secção de análise dos resultados, mas permitiu o planejamento de determinadas ações e a

adaptação de determinados testes para conseguir dados que pudessem ser analisados ao final dessa etapa.

Esses foram os materiais usados na pesquisa (Quadro 6):

Quadro 6: Lista de materiais usados durante a pesquisa.

Material	Fabricante
Areia	Areia média comercializada pela Marsol - Materiais de Construção
Cimento	CP-IV 32 da fabricante POTY
Fibra do coco verde	Fibras comercializadas pela Vitaplan

Fonte: Autor

Além disso, esses foram os equipamentos usados no decorrer da pesquisa (Quadro 7):

Quadro 7: Lista de equipamentos usados durante a pesquisa.

Equipamento	Descrição	Página em que o equipamento é mencionado
Balança de Precisão	Foi usada para medir os pesos dos materiais usados na confecção da argamassa e do compósito (fabricante: BEL Engineering – modelo: L3102i).	59
Baldes de Diferentes Tamanhos	Os baldes foram usados em funções diferentes. Desde armazenar pedaços da casca do coco ou fibras, até lavar as fibras.	56
Betoneira	Usado para misturar os materiais na confecção dos corpos de prova (fabricante: MAQTRON – modelo: M-400)	58 a 60, 62 e 63
Fôrmas Cilíndricas	Teve como objetivo padronizar as dimensões das amostras para os ensaios de absorção de água e compressão	59, 61 e 75
Fôrmas Prismáticas	Teve como objetivo padronizar as dimensões das amostras para o ensaio prismáticos	59
Máquina de Ensaio de Compressão	Equipamento que realizou os ensaios de compressão e flexão (fabricante: SOLOTEST – modelo: Prensa eletro hidráulica digital capacidade 100 T, para CP 10 x 20 cm)	66
Máquina de Trituração	Ferramenta utilizada para triturar as cascas dos cocos	55
Mesa Vibratória	Serviu para a retirada das bolhas de ar residual no interior das amostras	59, 61 e 78
Microscópio	Gerou imagens através da Microscopia Eletrônica de Varredura que foram usadas para gerar os resultados da Espectroscopia de Energia Dispersiva (fabricante: HITACHI – modelo: TM3030 Tabletop Microscope)	71
Prensa Hidráulica	Foi usada na confecção das pastilhas usadas durante a Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier	72
Serra de Bancada	Ferramenta usada para produzir os fragmentos usados para a realização da Microscopia Eletrônica de Varredura (fabricante: CORTAG – modelo: Zapp 600)	70

Fonte: Autor

5.2.2 Obtenção da FCV

Para a aquisição das fibras do coco verde, foram utilizados como referências as pesquisas de Carrijo *et al.* (2002), Rosa *et al.* (2001), Rosa *et al.* (2009) e Simonetti *et al.* (2017).

Embora o estudo desenvolvido por Carrijo *et al.* (2002) almeje a utilização do pó da FCV, um dos rejeitos da aquisição dessa matéria-prima é a fibra deste fruto. Que é um subproduto de um trajeto dividido em seis etapas, em que quatro delas foram consideradas relevantes para essa pesquisa. Denominadas por Carrijo *et al.* (2002) como: (1) coleta da matéria prima, (2) desintegração/trituração da casca, (3) lavagem das fibras e (4) armazenamento.

Rosa *et al.* (2001) excluem a etapa correspondente à coleta do coco verde, seguindo a seguinte sequência: (1) dilaceração, (2) pré-secagem, (3) moagem, (4) secagem, (5) classificação.

Já Rosa *et al.* (2009), definem o caminho para a aquisição e refinamento da FCV em nove etapas nomeadas como: (1) coleta da casca de coco verde, (2) alimentação, (3) trituração, (4) prensagem, (5) classificação, (6) secagem, (7) reclassificação, (8) enfardamento e (9) armazenagem e expedição. A segunda etapa corresponde a alimentação do maquinário que irá triturar o coco verde. Já a prensagem (4ª etapa) para Rosa *et al.* (2009), foi utilizada em seu estudo para adquirir outro subproduto, o líquido da casca de coco verde. Que não possui relevância para a presente pesquisa.

Por fim, Simonetti *et al.* (2017) elenca a seguinte sequência para a aquisição da FCV: (1) coleta dos cocos sem a água. (2) remoção ou trituração da casca e fibras, (3) coleta das cascas e fibras, (4) transporte das cascas e fibras para usina de processamento, (5) imersão das fibras em água e compostagem das fibras e (6) processamento da fibra.

Dessa forma, foi possível perceber que, dentre os estudos selecionados existiam alguns padrões entre as etapas (QUADRO 5).

Quadro 8: Relação de etapas para composição do método de obtenção da FCV

Etapas	Autores			
	Carrijo <i>et al.</i> (2002)	Rosa <i>et al.</i> (2001)	Rosa <i>et al.</i> (2009)	Simonetti <i>et al.</i> (2017)
Coleta e trituração do coco	Coleta da matéria-prima	Dilaceração	Coleta da casca do coco verde	Coleta dos cocos sem a água
	Desintegração ou trituração da casca		Alimentação	Remoção ou trituração da casca e fibras
			Trituração	
Etapas de Refinamento	Lavagem das fibras	Pré-secagem	Prensagem	Coleta das cascas e fibras
		Moagem		Transporte para o processamento
		Secagem		Imersão das fibras em água
				Processamento fibras
Etapas de finalização	Armazenagem	Classificação	Classificação	Fim do método descrito
	Etapas de refinamento particulares da pesquisa	Pó da casca do coco verde	Secagem	
		Fim do método descrito	Reclassificação	
			Enfardamento	
			Armazenagem e Expedição	

Fonte: Autor (2025)

A partir da coleta desses dados foi possível identificar os pontos relevantes para a aquisição das fibras para o desenvolvimento das etapas de beneficiamento usadas na pesquisa, que consistem em:

- 1º passo – coletar as cascas, obtidas através de doação de um depósito de cocos da região, respeitando a regra da coleta até três dias após o consumo da água (Carrijo *et al.*, 2002; Rosa *et al.*, 2001; e Simonetti *et al.*, 2017);
- 2º passo – realizar uma triagem do material. Etapa que tem a função de retirar canudos dentro do fruto e averiguar se o coco foi consumido em até três dias;
- 3º passo – triturar o material, que pode acontecer manualmente ou com auxílio mecânico de trituradores e outras máquinas semelhantes (Carrijo *et al.*, 2002; Rosa *et al.*, 2001; Rosa *et al.*, 2009 e Simonetti *et al.*, 2017);
- 4º passo – classificar o material, identificando os pedaços com maior presença de pó da casca do coco verde (subproduto que não é utilizado nessa pesquisa) (Rosa *et al.*, 2001 e Rosa *et al.*, 2009);
- 5º passo – desagregar as fibras. Essa é a fase em que o material selecionado passa por outra triagem, realizada manualmente, para seleção das fibras e retirada do pó preso a ela (Rosa *et al.*, 2001);

- 6º passo – lavar o material acumulado. Durante a imersão em água, o atrito das fibras com o líquido auxilia na extração de parte dos sais, assim como contribui para desagregar a parcela persistente do pó que ainda restou nas fibras (Carrijo *et al.*, 2002 e Simonetti *et al.*, 2017);
- 7º passo – secar a fibra em temperatura ambiente. Que é o processo mais sensível aos intemperes locais, já que a umidade relativa e a temperatura podem ser um fator tanto prejudicial quanto de auxílio para essa etapa (Rosa *et al.*, 2001 e Rosa *et al.*, 2009);
- Passo opcional – reclassificar as fibras. Retirando pedaços que passaram pelas triagens anteriores e que ainda apresentem o pó da casca do coco verde (Rosa *et al.*, 2009);
- 8º passo – armazenar as fibras em ambiente longe de qualquer fonte de umidade (Carrijo *et al.*, 2002 e Simonetti *et al.*, 2017).

Para executar os passos listados acima, foram coletados 40 cocos, referente ao tratamento dos frutos correspondente aos 1º e 2º passos (Figura 9).

Figura 6: 1º e 2º passos



Fonte: Autor

Após os 1º e 2º passos, todo o material coletado foi transportado para uma fábrica onde, através do equipamento disponibilizado (Figura 10), procedeu-se à trituração dos cocos correspondente ao 3º passo.

Figura 7: Equipamento utilizado para triturar os cocos



Fonte: Autor

Os 4º e 5º passos ocorreram simultaneamente, já que ao se classificar o material era realizada a desagregação do pó preso às fibras (Figura 11). Foi neste ponto do processo que a triagem se tornou complexa. Pois, a trituração dos cocos resultou na mistura de todas as partes componentes do fruto (epicarpo, mesocarpo e endocarpo) dificultando a separação das fibras das demais partes do coco.

Figura 8: FCV adquirida após os 4º e 5º passos



Fonte: Autor

Além disso, em determinado momento do processo partes integrantes do material começaram a mofar tornando-se impróprias para uso posterior de confecção dos corpos de prova. O mofo, que se intensificava a cada dia, comprometeu boa parte do material, pois o trabalho manual de separação das partes aproveitáveis das indesejáveis demandava bastante tempo resultando no descarte de grande parte do material coletado.

Após o acúmulo de um considerável volume de FCV, lavagens foram realizadas (6º passo). As fibras foram colocadas em um balde até serem completamente submersas por uma parcela significativa de água. Posteriormente elas foram remexidas com o auxílio de uma haste. O propósito dessa etapa é possibilitar a extração de sais e outras substâncias presentes na FCV, podendo ocorrer de duas à três vezes com o intuito de extrair a maior quantidade possível de pó e sais da FCV. Além disso, o atrito das fibras com a água e entre elas facilitava a desagregação do pó preso na FCV (Figura 12). A partir deste procedimento a água ganhou um tom baio resultante da quantidade de pó e sais extraídos durante as lavagens.

Figura 9: A esquerda – FCV submersas na água; A direita – Pó e fibra molhados



Fonte: Autor

No 7º passo; as fibras lavadas foram colocadas para secar, em temperatura ambiente, sobre uma lona (Figura 13). Durante a secagem, foi percebida a desagregação do pó remanescente que permanecia na FCV. Essa etapa foi determinante para as decisões relacionadas aos procedimentos posteriores, pois a infraestrutura disponível não permitia realizar etapas distintas simultaneamente pela necessidade de utilizar equipamentos que já estavam sendo usados.

Figura 10: 7º passo



Fonte: Autor

O passo opcional de reclassificar as fibras foi realizado ao perceber algo inesperado, como a presença excessiva de pó ou a seleção de pedaços que não haviam sido desagregados corretamente.

Por fim, no 8º passo, o material refinado foi colocado em um ambiente longe de fontes de umidade. Após a secagem a FCV foi acondicionado em sacos plásticos.

Para adquirir as FCV pela técnica narrada, foram necessários aproximadamente 1 mês para a realização da sequência de eventos aqui apresentada, incluindo imprevistos.

Durante 15 dias o pesquisador trabalhou ativamente do 1º ao 6º passo, gastando por volta de seis horas por dia. Após a lavagem, aspectos como o clima e a presença ou ausência do sol, foram determinantes para agilizar ou retardar o progresso da secagem.

Ao final de um ciclo e meio de refinamento de fibras, foram obtidas apenas 600 gramas de material, quantidade que não chega à metade do peso final utilizado em fibras, que foi de 4,608 kg. O material obtido não era suficiente para confeccionar nenhum grupo de amostras que tivesse a presença de fibras. Por isso, o processo de aquisição de fibras por meio artesanal foi abandonado e optou-se pela compra de fibras comercializadas pela empresa Vitaplan.

As fibras adquiridas vinham embaladas em pacotes plásticos transparentes de 200 gramas cada. Normalmente são utilizadas para manutenção de jardins e em vasos ornamentais. Foram adquiridos 36 pacotes de fibras secas considerando a estimativa de peso aproximado necessário para confecção dos corpos de prova. Para realizar o tratamento do material adquirido foram tomadas as seguintes medidas:

- Retirar terra presente nas fibras oriundas das embalagens;
- Remover os pedaços que não foram desagregados corretamente;
- Extrair o pó remanescente ainda presente nas FCV;
- Cortar as fibras em pedaços menores, pois seguimentos muito longos prejudicariam a homogeneização da mistura com argamassa, além do risco de ficarem presos nos misturadores internos contidos no tambor da betoneira.

Outra hipótese cogitada seria que seguimentos compridos poderiam emaranhar entre si, causando a concentração de fibras em determinados pontos dos corpos de prova, prejudicando os resultados obtidos.

5.3 Quantificação dos materiais

A linha de pensamento para determinar a quantidade de materiais pode ser resumida na confecção do grupo padrão (P). Pois, ao realizar os procedimentos relativos a esse grupo, foi possível determinar a densidade da argamassa produzida. Isso ofereceu ao pesquisador uma relação entre massa e volume que orientou a compra dos materiais usados no estudo.

Esse processo exigiu inicialmente 50 kg de cimento (fabricante: POTY – modelo: CP IV), 20 kg de areia média e 21,5 kg de água, quantidades medidas em uma balança de precisão (fabricante: BEL Engineering – modelo: L3102i), que foram posteriormente misturados em uma betoneira (fabricante: MAQTRON – modelo: M-400) até adquirirem uma consistência pastosa e homogênea. Em seguida essa mistura foi colocada nas 10 fôrmas cilíndricas, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e duas fôrmas prismáticas, com 15 cm x 15,3 cm x 50 cm. O material produzido pela primeira vez não foi suficiente para preencher as três fôrmas prismáticas restantes.

Com isso, foi possível estimar a densidade da argamassa quando se encontra no estado pastoso. O que permitiu ao pesquisador determinar a quantidade necessária para preencher as fôrmas restantes. No final desse processo, foram usados 100 kg de cimento, 40 kg de areia média e 43 kg de água, mas parte da argamassa permaneceu na betoneira. Por isso, nas vezes

seguintes o peso de cimento utilizado foi reduzido, e consequentemente o dos outros materiais usados para fazer a argamassa.

5.4 Preparo dos corpos de prova

O cimento foi confeccionado como argamassa (Chiaverini, 1986), seguindo o traço determinado (cimento – 1; areia média – 0,4 e água – 0,43). A argamassa foi misturada até obter uma consistência homogênea, para depois ser distribuída entre as fôrmas cilíndricas e prismáticas. Nos grupos em que houve adição da FCV, ela foi adicionada aos poucos, enquanto a mistura permanecia na betoneira em funcionamento.

Independentemente de sua forma, as amostras possuem um processo de conformação comum entre elas, que, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015), consiste no adensamento a fôrma. Que ocorre quando frações da argamassa são colocadas na sua fôrma respectiva, para a eliminação das bolhas de ar presentes na amostra. Além da compactação da mistura de maneira mecânica através de uma mesa vibratória.

Após 24 horas as amostras foram retiradas das fôrmas e colocadas em uma câmara úmida. Para as amostras prismáticas o tempo de cura é de 48 horas, padrão que não foi atendido, uma vez que a instituição na qual a pesquisa foi realizada tem um protocolo rígido de reserva e utilização do laboratório. Razão para que determinados aspectos presentes nas normas fossem adaptados pelo pesquisador por não ter acesso irrestrito ao ambiente.

Após a retirada dos corpos de prova das fôrmas, estes foram submersos em água por um período de seis dias, em temperatura ambiente, adaptação relativa a NBR 9479 (ABNT, 2006 e 2015) que especifica uma faixa de temperatura que deve ser mantida por vias mecânicas.

Na semana seguinte (7º dia), as amostras foram retiradas da câmara úmida. Em seguida, esses corpos de prova permaneceram 21 dias em local seco com temperatura ambiente, até finalizar os 28 dias de cura. Entretanto, alguns testes tiveram início no 27º dia de cura enquanto outros foram finalizados no 29º dia de cura.

5.4.1 Confeção do grupo Padrão (P)

A confecção das amostras foi iniciada pelo grupo padrão (P), sem adição das FCV. Essa medida foi tomada pela necessidade de quantificar os materiais que seriam usados na confecção dos grupos posteriores a esse. Para tal, tomou-se por base o cálculo do volume relativo às fôrmas que foram usadas durante os experimentos, aproximadamente $0,1359148 \text{ m}^3$.

Logo, a confecção do grupo P, no início da etapa de criação dos corpos de prova, foi importante para o controle, tanto em comparação com as propriedades das outras amostras, quanto para revelar a quantidade de material necessário para suprir a demanda exigida pelo estudo nas etapas posteriores.

Dessa forma, a confecção dessa parcela de amostras ocorreu a partir da mistura dos materiais em duas etapas utilizando uma betoneira (fabricante: MAQTRON – modelo: M-400). Na primeira delas houve a pesagem do cimento, da areia e da água na proporção 1:0,4:0,43. A razão para o valor de água ser esse, é que durante a mistura foi constatado que a quantidade de água prevista anteriormente, ou seja 0,5, mostrou-se além do necessário. Então, após a constatação visual que a argamassa resultante apresentava consistência (Figura 14) e trabalhabilidade adequadas a adição de água foi interrompida em 0,43.

Figura 11: Consistência da argamassa produzida



Fonte: Autor

Na primeira leva de amostras confeccionadas a quantidade de material utilizado preencheu 10 fôrmas cilíndricas e duas prismáticas, que em seguida foram colocadas em uma mesa vibratória para reduzir a presença de bolhas de ar no interior das amostras (Figura 15). Parte essencial para que as amostras obtivessem o máximo de compactação de seus elementos constituintes.

Figura 12: Mesa vibratória usada para reduzir as bolhas de ar no interior das amostras



Fonte: Autor

Foi necessária uma segunda etapa para confecção das três amostras prismáticas restantes. A quantificação total de material utilizado para o processo como um todo excedeu o volume necessário para preenchimento das fôrmas, totalizando 96,561 kg de cimento, 38,624 kg de areia e 41,521 litros de água. Esses valores desconsideram possíveis perdas que ocorreram durante o manejo dos materiais. Além disso, é importante ressaltar que essas medidas de materiais geraram uma pequena sobra presente na betoneira que foi posteriormente descartada.

5.4.2 Confecção do grupo com 2,4% de fibras (F2,4)

Para as amostras com substituição de 2,4% de cimento por FCV, o valor de cimento considerado foi de 96 kg. Uma vez que essa quantidade geraria sobra de material permitindo o preenchimento do volume das fôrmas. Logo, os 2,4% do total de 96 kg correspondeu a 2,304 kg, que foram subtraídos da quantidade de cimento e adicionados pela quantidade de FCV. Os valores de peso relativos à areia e água permaneceram inalterados nessa proporção.

Assim, nessa etapa ocorreu, primeiramente, a mistura dos elementos ligados à argamassa (cimento, areia e água). Após adquirirem consistência aproximada a do grupo P, a FCV foi adicionada aos poucos.

O procedimento de mistura utilizado foi simples, em que um punhado de fibras foi inserida aos poucos enquanto a argamassa era misturada. Ao término do processo, a argamassa apresentou redução na fluidez da mistura pastosa, mas o material obtido ainda possuía trabalhabilidade suficiente para ser colocado nas fôrmas.

A maior dificuldade dessa fase foi acerca das fibras presentes na mistura que tendiam a se aglomerar, criando emaranhados. Portanto, coletar a mistura da betoneira e levá-la até as fôrmas, acabou tornando o procedimento mais exaustivo se comparado ao grupo P. Ademais, parte daquela pasta ficou presa nos misturadores internos do tambor da betoneira, exigindo a retirada manual do material sequestrado por eles.

É importante ressaltar que a ausência de fotos da confecção desse grupo ocorreu devido à quantidade de material expelido pela betoneira durante a mistura dos elementos, inviabilizando o registro do experimento.

Ao final, os corpos de prova (10 cilíndricos e 5 prismáticos) desse grupo foram produzidos utilizando-se 93,696 kg de cimento, 38,400 kg de areia, 41,28 L de água e os 2,304 kg de FCV.

5.4.3 Confecção do grupo com 4,4% de fibras (F4,4)

Na mistura com base na adição de fibras a 4,4% foram utilizados os mesmos processos descritos em relação ao grupo P para desenvolver a argamassa e, grupo F2,4 para adição da fibra. Entretanto, diferente das amostras de 2,4%, em determinado momento da confecção desses corpos de prova, observou-se a perda mais rápida de trabalhabilidade da mistura. Assim, para não perder o material presente na betoneira, optou-se por manter o peso da FCV do conjunto F2,4. Isso iria gerar um grupo distinto com quantidades iguais de areia, água e fibra, mas com uma leve redução de cimento usado na mistura, o que gerou dados relevantes para a análise das amostras, principalmente nos resultados mecânicos.

Ao final, para a confecção dos corpos de prova desse terceiro grupo foram utilizados 91,776 kg de cimento, 38,400 kg de areia, 41,28 L de água e os 2,304 kg de FCV resultando na renomeação do grupo F4,4 para F2,51 de acordo com a substituição de cimento por FCV.

Abaixo, a composição final de todos os grupos conforme os componentes das misturas (Tabela 1):

Tabela 1: Composição dos grupos P; F2,4 e F2,51

GRUPOS	CIMENTO (kg)	AREIA (kg)	ÁGUA (L)	FIBRAS (kg)
P	96,561	38,624	41,521	-
F2,4	93,696	38,400	41,28	2,304
F2,51	91,776	38,400	41,28	2,304

Fonte: Autor

5.5 Realização dos testes

Os testes ocorreram levando em consideração o tempo de cura estabelecido de 28 dias. Dessa forma, as próximas seções deste documento buscam detalhar os ensaios, seguindo os parâmetros relativos a cada ensaio, a seguir:

- Qual a finalidade;
- Informações pertinentes;
- Qual as ferramentas necessárias para a execução do teste;
- Detalhes da pretensão de execução de determinado ensaio;
- Lista dos dados coletados.

A seguir são apresentadas as normas e referências usadas para guiar os ensaios de absorção de água, compressão e flexão (Quadro 6):

Quadro 9: Normas e referências para cada testes

Ensaio	Descrição	Referência para no teste
Absorção de água	Exibe a alteração, em porcentagem do peso de uma amostra no seu estado saturado e seco.	NBR 9778 (ABNT, 2005) NBR 5738 (ABNT, 2015) Rodrigues <i>et al.</i> (2024)
Compressão	É aplicada uma força perpendicular a base da amostra que se encontra totalmente apoiada, com o objetivo de registrar a força aplicada no momento da ruptura, assim como sua resistência.	NBR 5738 (ABNT, 2015) NBR 5739 (ABNT, 2018)
Flexão	A amostra é biapoiada em suas extremidades para que em seguida seja aplicada uma força perpendicular a essa base, tendo o mesmo objetivo do ensaio de compressão.	NBR 12142 (ABNT, 2010) NBR 5738 (ABNT, 2015)

Fonte: Listadas

5.6 Absorção de água

Este ensaio identifica como os corpos de prova reagem à presença de água. De modo a indicar o volume aparente que aquela amostra consegue absorver, o que interfere nas dimensões e no peso que as amostras podem apresentar.

Assim, o teste buscou estabelecer uma relação entre as amostras antes e depois do ensaio, relacionando as alterações de dimensões e de peso com a porosidade que o material possui em sua estrutura. Já que, segundo Matos (2017), a porosidade de uma argamassa tem

relação com a resistência à compressão daquela mistura. Então, caso a matriz cimentícia desse estudo apresente um alto índice de porosidade é esperado que sua resistência à compressão apresentará uma relação inversamente proporcional com a constante estudada no ensaio.

A norma estabelece para esse ensaio uma equação para determinar a absorção em porcentagem das amostras (Equação 1):

Equação 1: Cálculo de absorção de água, em porcentagem

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100$$

- A absorção de água, em porcentagem;
- m_{sat} massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;
- m_s massa da amostra seca em estufa.

Fonte: NBR 9778 (ABNT, 2005, p. 3)

Os demais dados que podem ser coletados de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2005) são: (1) Índice de vazios (I_v); (2) Massa específica da amostra saturada (ρ_{sat}); (3) Massa específica da amostra seca (ρ_s) e (4) Massa específica real (ρ_r). Que não foram usados nessa análise, por exigirem a massa imersa (m_i) das amostras. Dado que não foi coletado pela ausência dos equipamentos necessários para reunir tais informações e pela ausência de tempo para adaptar o modelo proposto pela norma como foi realizado por Rodrigues *et al.* (2024) ao executar o mesmo teste. Então os valores usados nas equações anteriores foram adaptados por outros dados (Quadro 7):

Quadro 10: Parâmetros alterados no teste de absorção de água

	NBR 9778 (ABNT, 2005)	Parâmetro realizado
Massa saturada (m_{sat})	Obtida após fervura pela submersão em câmara úmida por um período de 24 a 72 horas.	Obtida após a submersão em câmara úmida por um período de 24 horas.
Massa seca (m_s)	Obtida quando a amostras é mantida em uma estufa com temperatura entre 100 e 110° C por um período de 24 a 72 horas.	Obtida quando a amostras foram colocadas em uma estufa a 94° C por um período de 24 horas.

Fonte: NBR 9778 (ABNT, 2005, p. 3) e o Autor.

Com base nas adaptações o ensaio ofereceu os seguintes dados após o período de três dias:

- Códigos de identificação das amostras
- Diâmetro (m);
- Raio (m);
- Altura (m);
- Peso (kg)
- Volume (m³);
- Densidade (kg/ m³);
- Data do teste que corresponde ao estado da amostra:
 - No 27º dia de cura;
 - Após 24 horas na estufa (28º dia);
 - Após 24 horas na câmara úmida (29º dia).
- Índice de absorção de água, em porcentagem.

5.7 Compressão

O ensaio de compressão demonstra a resistência mecânica que as amostras têm de suportar essa força. Sendo o teste que determinou se a adição da FCV aumentou a resistência das amostras que a continham. Aspecto importante do estudo, já que a ampliação das cargas suportadas por esse novo material pode influenciar o seu direcionamento no setor da construção civil.

Segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018), para a realização do ensaio de compressão são necessários os seguintes equipamentos:

- Máquina de ensaio de compressão (fabricante: SOLOTEST – modelo: Prensa eletro hidráulica digital capacidade 100 T, para CP 10 x 20 cm);
- Paquímetro.

As amostras foram apoiadas em sua base circular permanecendo paralela à superfície de apoio, devendo ficar em repouso até o início dos testes. Então, após o ajuste da amostra à máquina de ensaio foi aplicada uma carga constante com “velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s” (ABNT, 2018, p. 5).

A execução do teste exigiu que os corpos de prova fossem cilíndricos, devendo ter as medidas anotadas antes da execução do ensaio, já que as amostras foram destruídas na execução dos testes. Pela ausência da determinação de um número de amostras mínimo para a realização do ensaio, foi adotada a conformação de quatro corpos de prova destinados à execução deste

ensaio em cada grupo de teste. Com uma quinta amostra sendo confeccionada como sobressalente para substituir algum dado, caso um deles não fossem coletados por qualquer motivo.

Para adquirir os dados relativos aos ensaios de compressão, foram usados os parâmetros de teste da NBR 5739 (ABNT, 2018). Que estabelece a expressão a seguir para determinar o cálculo de resistência a compressão (Equação 2):

Equação 2: Cálculo de resistência a compressão

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2}$$

f_c é a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

D é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018, p. 5)

Os dados relativos à força aplicada e resistência do material foram coletados pela prensa eletro hidráulica durante o ensaio de compressão. Ao ligar esse maquinário, em sua interface, aparecem alguns parâmetros que podem ser editados para a realização do teste (Quadro 8).

Quadro 11: Dados inseridos na máquina de ensaio durante os testes de compressão

Parâmetro	Tradução	Dado Usado	Referência
Rate	Velocidade da carga	0,45 MPa/s	NBR 5739 (ABNT, 2018, p. 5).
Start Load	Carga inicial	0,010 kN	Configuração inicial da máquina de ensaio.
Stop Load	Parada de carga	5,0%	
Height	Altura	CDT	Dados relativos a própria amostra.
Width	Largura		
Temperature	Temperatura	20° C	Temperatura do local de ensaio.
Weight	Peso	CDT	Dados relativos a própria amostra.
Density	Densidade		
Days	Dias	27	NBR 5739 (ABNT, 2018, p. 4).

Legenda:

CDT coletado durante os testes

Fonte: Listadas na tabela

A cada novo ensaio os campos devem ter seus dados adequados a amostra correspondente. Ao final do rompimento de todas as amostras é preciso aplicar um fator de correção no resultado ligado à força aplicada no momento da ruptura da amostra. Para isso, a

própria NBR 5739 (ABNT, 2018, p. 5) apresenta a interpolação linear para obtenção de valores intermediários entre os fatores de correção, que é expressa pela equação a seguir (Equação 3):

Equação 3: Cálculo da interpolação linear

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (x - x_1)$$

Valores para realizar a interpolação linear

	Relação altura/diâmetro (x)	Fator de correção (y)
1	1,75	0,98
2	2	1
Desconhecido (y)	Coletado durante os testes	Resultado da Interpolação linear

Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018, p. 5).

Logo, esse ensaio forneceu os seguintes dados após o período de três dias:

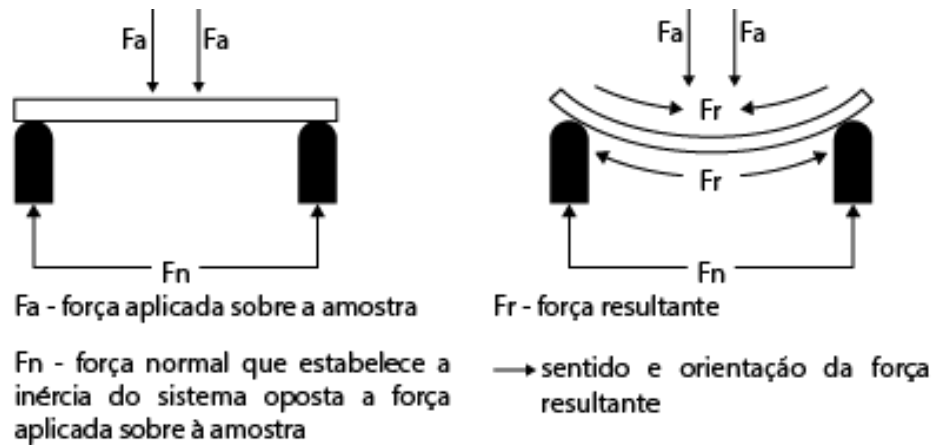
- Códigos de identificação das amostras
- Diâmetro (m);
- Raio (m);
- Altura (m);
- Área da secção transversal (m²);
- Volume (m³);
- Peso (kg);
- Densidade (kg/m³);
- Força aplicada (kN);
- Resistência (MPa);
- Tensão de Ruptura (kN /m²);
- Resistência – NBR 5739 (kN/m²);
- Relação altura/diâmetro;
- Fator de correção (determinado pela interpolação linear);
- Resistência – NBR 5739 após a aplicação do fator de correção (kN/m²);
- Data do ensaio.

5.8 Flexão 4 pontos

O ensaio de flexão demonstra como as amostras se comportam em uma situação de estresse mecânico sofrido por estruturas como vigas ou pavimentos bi apoiados. Na modalidade com três pontos, a amostra prismática é colocada em repouso em dois dos quatro pontos, simulando um vão próprio de um pórtico biapoiado. Enquanto isso, o ponto restante aplica força

no sentido perpendicular à amostra (Figura 6). A diferença entre esse ensaio e o com 4 pontos, é que nessa categoria dois pontos servem como aplicadores de força com um vão menor que o da base de apoio da amostra. De modo a dividir a amostra em três segmentos, delimitados pelos pontos de repouso (2) e aplicação de força (2) na amostra.

Figura 13: Exemplificação do ensaio de flexão 3 pontos



Fonte: Autor (2024)

Os cálculos usados para chegar aos resultados dos testes de flexão estão descritos na fórmula a seguir (Equação 4):

Equação 4: Cálculo de resistência à flexão

$$a) f_{ct}, f = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad \text{ou} \quad b) f_{ct}, f = \frac{3 \cdot F \cdot a}{b \cdot d^2}$$

f_{ct}, f é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

l é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

b é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d é a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

a é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em milímetros (mm).

Fonte: NBR 12142 (ABNT, 2010, p. 4)

Os dados relativos à força aplicada e resistência do material foram coletados pela prensa eletro hidráulica durante o ensaio de flexão. Ao ligar esse maquinário, em sua interface, aparecem alguns parâmetros que podem ser editados para a realização do teste (Quadro 9).

Quadro 12: Dados inseridos na máquina de ensaio durante os testes de flexão

Parâmetro	Tradução	Dado Usado	Referência
Rate	Velocidade da carga	0,02 MPa/s	NBR 12142 (ABNT, 2010, p. 4).
Start Load	Carga inicial	0,010 kN	Configuração inicial da máquina de ensaio.
Stop Load	Parada de carga	5,0%	
Height	Altura	C.D.T.	Dados relativos a própria amostra.
Width	Largura		
Lower span	Vão Inferior	45 cm	NBR 5738 (ABNT, 2015).
Upper Span	Vão Superior	15 cm	
Temperature	Temperatura	20° C	Temperatura do local de ensaio.
Weight	Peso	C.D.T.	Dados relativos a própria amostra.
Density	Densidade		
Days	Dias	28	NBR 12142 (ABNT, 2010).

Legenda:

CDT coletado durante os testes

Fonte: Listadas na tabela

O número de amostras foi determinado pelo mesmo raciocínio expresso no ensaio de compressão, 4 amostras para coleta de dados e uma sobressalente caso houvesse um imprevisto. Assim, como no teste de compressão as ferramentas e cuidados devem ser replicados. A norma que guia esse ensaio é a NBR 12142 (ABNT, 2010). Os testes tiveram seguimento até a amostra apresentar uma fratura visível. Assim o coletou os seguintes dados:

- Códigos de identificação das amostras;
- Largura (m);
- Altura (m);
- Comprimento (m);
- Área da secção transversal (m²);
- Volume (m³);
- Peso (kg);
- Densidade (kg/m³);
- Força aplicada (kN);
- Resistência (MPa);
- Tensão de Ruptura (kN/m²);
- Fator de correção (determinado pela menor distância entre a fratura e uma das bases) (ABNT, 2010);
- Resistência – NBR 12142 (ABNT, 2010) após a aplicação do fator de correção (kN/m²);
- Data do ensaio.

5.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

Conhecer os materiais também é compreender como sua microestrutura está organizada e qual é o significado desses padrões na especulação das propriedades de determinado elemento (Padilha *et al.* 2020). Para isso a microscopia eletrônica de varredura (MEV) é utilizada como uma das diversas maneiras de inspecionar a superfície de materiais.

Essa técnica produz imagens através da incidência de um feixe de elétrons que interagem com a superfície do material, promovendo a emissão de elétrons secundários e retroespalhados, dados que são representados em uma escala de cinza por uma figura (Duarte *et al.*, 2003).

A análise desses dados é qualitativa, uma vez que se trata do reconhecimento de padrões avaliados previamente por outros pesquisadores relacionando as características visuais capturadas pela imagem com a “estrutura cristalina, composição química, quantidade, tamanho, forma e distribuição das fases” (Padilha *et al.*, 2020, p. 1).

No caso desse estudo, o MEV foi utilizado para gerar imagens da fratura de dois corpos de prova após a realização do ensaio de compressão. Com uma delas pertencendo ao grupo P e a outra compondo o conjunto dos corpos de prova que continham fibra (F2,4 e F2,51). As amostras foram previamente cortadas em uma serra de bancada (fabricante: CORTAG – modelo: Zapp 600) para que adquirissem dimensões ideais para adentrar o microscópio. No entanto, a redução resultante não foi o suficiente para entrar no equipamento, por isso a amostra teve seu tamanho reduzido mais uma vez no próprio local do teste através de uma chave de fenda e um martelo.

Em seguida, cada fração foi fixada na plataforma de análise com o auxílio de uma fita dupla fase que posteriormente era acoplada ao equipamento. A plataforma de análise foi colocada no interior de uma câmara/gaveta que, ao ser fechada, propiciava a formação de vácuo para evitar que o feixe de elétrons interagisse com as partículas presentes na atmosfera, tendo incidência total nos corpos de prova colocados ali.

Essas imagens foram produzidas por um microscópio (fabricante:HITACHI – modelo: TM3030 Tabletop Microscope) próprio para a função. O software utilizado para analisar os dados coletados foi o HITACHI TM3030 usando ampliações de 50X, 100X, 200X e 500X.

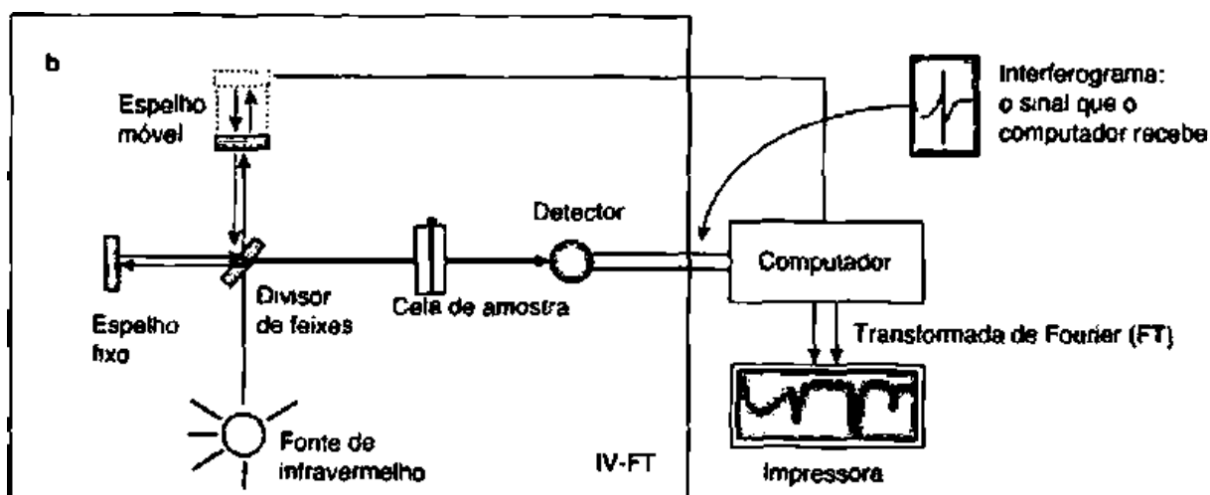
Posteriormente, as imagens com 50X das amostras com e sem FCV foram analisadas através de um EDS, sendo um sistema que pode ser acoplado ao MEV com o objetivo de

determinar a “composição qualitativa e semi-qualitativa das amostras a partir da emissão de raios X” (Duarte *et al.*, 2003, p. 5).

5.10 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Para Piqué e Vázquez (2012) o FTIR identifica a “impressão digital” do material analisado. Já que moléculas tem a capacidade de absorver energia de fótons através da energia infravermelha, quando a radiação emitida por essa faixa ressoa com o movimento vibracional molécula é possível categorizar tanto grupos funcionais quanto ligações atômicas dessas moléculas (Lopes, 2020; Piqué e Vázquez, 2012). Em outras palavras, o material testado é posicionado entre uma fonte de infravermelho e um detector ligado a um computador que analisou os dados (Figura 7).

Figura 14: Diagrama esquemático de transformada de Fourier



Fonte: Pavia *et al.*, 2015, p. 24

O espectro incidente que consegue ultrapassar a amostra é identificado pelo detector que produz um gráfico. Em que no eixo horizontal (x) é informado o número de onda e no eixo vertical (y) a transmitância, que é usada para classificar os diferentes tipos atômicos, já que cada tipo possui uma disposição característica de absorção ou transmissão da radiação (Oliveira *et al.*, 2018).

As amostras utilizadas para esse teste foram os componentes usados na confecção dos grupos P, F2,4 e F2,51, além dos próprios materiais resultantes dessa mistura.

No caso, os testes foram conduzidos nos materiais utilizados (areia, cimento e FCV) e nas misturas deles (grupo com e sem fibra).

Foi necessário obter o pó de cada um dos elementos descritos para depois serem diluídos em brometo de potássio (KBr). Essa diluição ocorreu com a mistura do material testado com KBr, que após uma homogeneização da mistura foi compactado, criando pastilhas com esses dois elementos. Essas pastilhas foram feitas através de uma prensa hidráulica (fabricante: SHIMADZU) sob a pressão de 70 kN durante 15 segundos. Ao todo, foram produzidas 6 pastilhas nas seguintes combinações: (1) areia e KBr; (2) cimento e KBr; (3); FCV e KBr; (4) pó do grupo P e KBr; (5) pó do grupo com FCV e KBr e (6) KBr puro (Figura 8).

Figura 15: Pastilhas utilizadas durante os FTIRs



Fonte: Autor

Após a confecção dessas amostras foram colocadas dentro do equipamento que fez a leituras dos dados. Como explicado anteriormente, o feixe infravermelho incide sobre o material analisado, para em seguida gerar gráficos que demonstram as bandas de determinados grupos funcionais.

Esses foram os parâmetros utilizados durante o FTIR (Quadro 10):

Quadro 13: Informações gerais sobre os FTIRs

Fabricante do equipamento	SHIMADZU
Modelo do equipamento usado	IR Prestige-21
Passo de varredura (cm⁻¹)	4
Número de onda inicial (cm⁻¹)	400
Número de onda final (cm⁻¹)	4000
Método de análise	Diluição por KBr

Fonte: Autor

6 RESULTADOS

A secção a seguir busca pondera sobre as propriedades físicas, mecânicas, químicas e de imagem dos elementos usados na confecção das amostras, assim como sobre as próprias amostras.

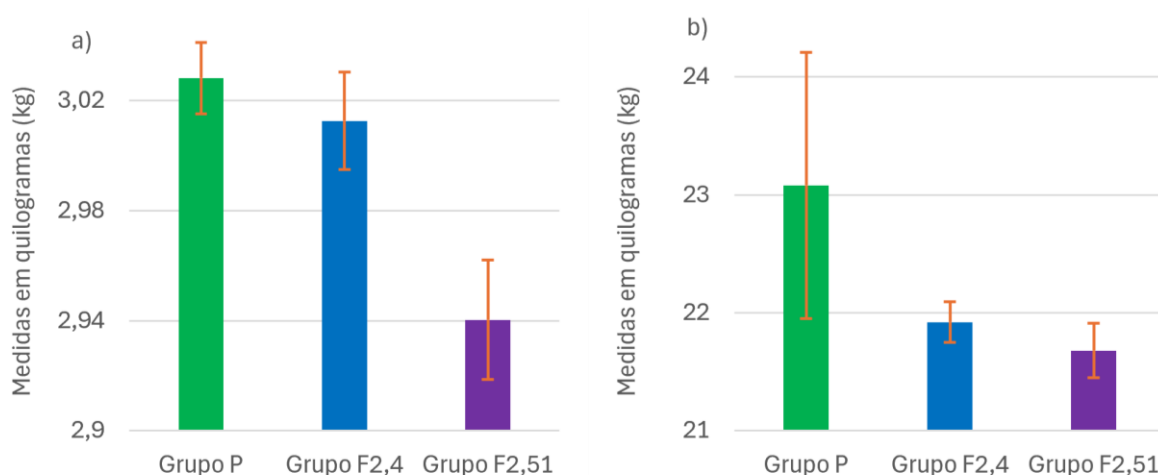
6.1 Propriedades Físicas

As características que serão analisadas nessa secção estão relacionadas com aspectos físicos das misturas desenvolvidas, que são o peso, volume e densidade. Ao examinar essas propriedades é possível perceber o impacto direto dos processos de confecção nos corpos de

prova seguidos a partir da NBR 5738 (ABNT, 2015), enquanto observa-se a interferência das ações tomadas para solucionar ou minimizar os problemas decorrentes das complicações que ocorreram durante a etapa de laboratório.

É perceptível que a adição das fibras interfere ativamente no peso das amostras quando comparado com o grupo P, que é composto por amostras sem adição de FCV. Essa redução absoluta no peso ocorre em maior destaque ao comparar os grupos P e F2,51. Pois, a ausência de compactação das amostras F2,51 demonstram como esse processo interfere ativamente no resultado exposto. O gráfico a seguir figura como resultado representativo dessa análise (Gráfico 1). Os dados gerais relacionados ao peso das amostras estão localizados no Apêndice A.

Gráfico 1: Peso das amostras por grupos; a) Média e desvio padrão das amostras cilíndricas; b) Média e desvio padrão das amostras prismáticas



Fonte: Autor.

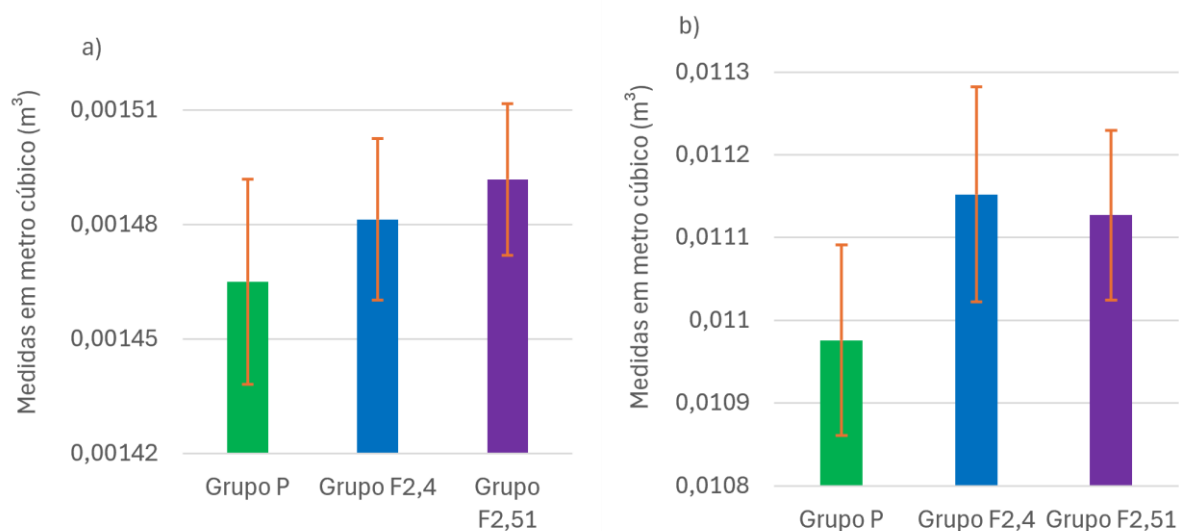
O aumento do desvio padrão nas amostras prismáticas do grupo P ocorreu por elas terem sido confeccionadas em dias diferentes, entretanto, não foi possível identificar qual fator interferiu no resultado, sendo a argumentação mais plausível para justificar esse fenômeno.

É possível inferir também que as amostras dos grupos F2,4 e F2,51 possuem um peso menor pela presença da FCV, levando a crer que a adição de FCV deixou as amostras mais leves.

Já o volume não apresentou um aspecto conclusivo, em que o grupo P, F2,4 e F2,51 apresentam, respectivamente, o menor, o médio e o maior valor ligado ao volume com relação as amostras cilíndricas. Entretanto, os dados coletados no teste de flexão relativo a essa

propriedade invertem as colocações entre os grupos que contém fibras no conjunto das amostras prismáticas (Gráfico 2).

Gráfico 2: Volume amostras por grupos; a) Média e desvio padrão das amostras cilíndricas; b) Média e desvio padrão das amostras prismáticas



Fonte: Autor.

Nesse caso, pela quantidade de fibras ser praticamente a mesma, apresentando uma diferença de 0,04% entre os grupos que contém FCV, o que leva a acreditar que essa anomalia no comportamento relacionado ao volume das amostras de flexão se deu pelas fôrmas usadas para moldar esses corpos de prova. Pois o processo de vibração, usado para retirar o ar que reside nas amostras enquanto permanecem em estado pastoso, não ocorreu no grupo F2,51. Logo o esperado é que as amostras desse grupo apresentassem um maior volume, pela presença de ar residual. Mas a fôrma prismática apresentava uma área base mais ampla que a sua contraparte cilíndrica. Então ao colocar a argamassa na fôrma prismática, ela conseguiu se acomodar melhor naquele recipiente. Enquanto nas fôrmas cilíndricas o material poderia acumular ar no interior da amostra devido a pequena área de base do recipiente (Figura 16).

Figura 16: Amostras F2,51 após ensaio de compressão. Com sinalizações das áreas que ocorreram acúmulo de ar devido à ausência de vibração das amostras.



Fonte: Autor.

Essa linha de raciocínio, junto a fotografia apresentada, comprova parcialmente que o processo de compactação tem maior influência em corpos de prova com o volume menor. Porém, esse conjunto de evidências não exclui a possibilidade de investigação sobre o evento. No mais, a FCV expandiu o volume das amostras que fazia parte, levando a crer que ela possui volume maior que o cimento, quando ambos possuem o mesmo peso. Os dados gerais relacionados ao volume das amostras estão localizados no Apêndice A.

Os resultados relacionados a densidade não apresentaram surpresas. Uma vez que esse aspecto físico da matéria é dado pela razão da Massa por seu Volume (Equação 5). Já que a adição das fibras deixava os grupos que as tinham com menor peso, era mais do que esperado que essas amostras apresentassem uma densidade menor que o grupo P. Além disso, a redução da densidade nas amostras com FCV ocorreu devido a ampliação do volume desses corpos de prova em comparação com as do grupo P. Afinal, a densidade é diretamente proporcional a massa e inversamente proporcional ao volume.

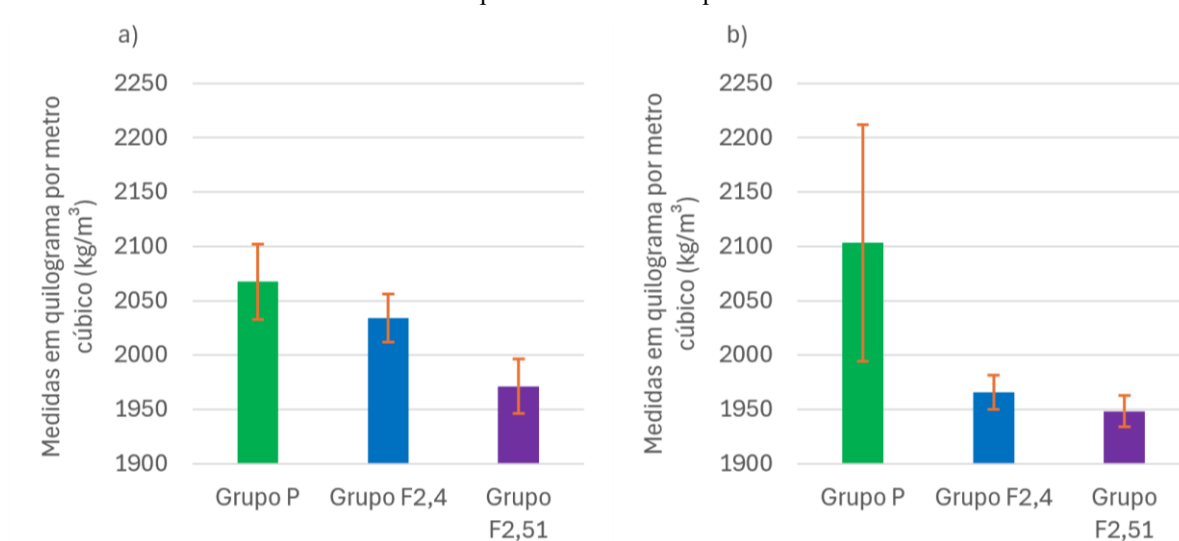
Equação 5: Cálculo da densidade

$$\frac{\text{Massa}}{\text{Volume}} = \text{Densidade}$$

Fonte: Autor.

O comportamento relacionado a densidade das amostras pode ser exemplificado pelo gráfico a seguir (Gráfico 3).

Gráfico 3: Densidade das amostras por grupos; a) Média e desvio padrão das amostras cilíndricas; b) Média e desvio padrão das amostras prismáticas



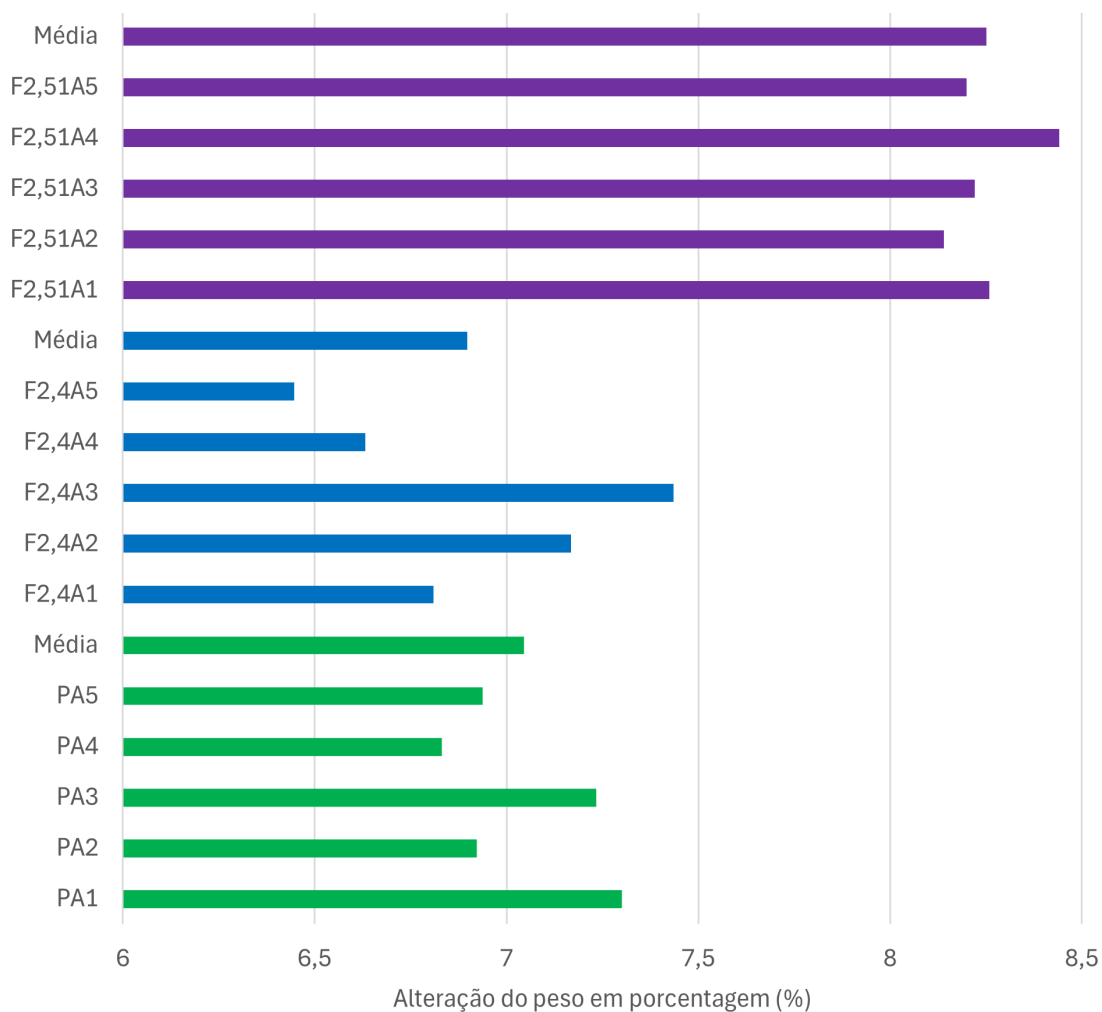
Fonte: Autor.

O aumento no desvio padrão do grupo P nas amostras prismáticas têm relação direta com o desvio padrão do peso das amostras prismáticas, fato já abordado anteriormente. Os demais dados gerais relacionados à densidade das amostras estão localizados no Apêndice A.

6.2 Absorção de Água

Os resultados relacionados a Absorção de água podem ser observados no gráfico a seguir (Gráfico 4).

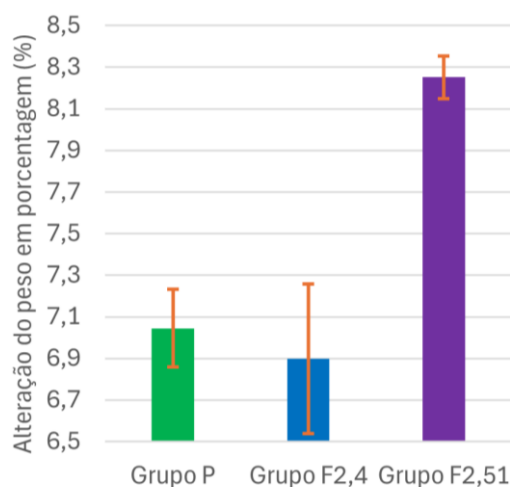
Gráfico 4: Resultados dos testes de absorção de água, em porcentagem.



Fonte: Autor.

Como já expressei anteriormente, as amostras F2,51 não foram colocadas na mesa vibratória devido a um problema técnico que impossibilitou a utilização do equipamento. Por isso, foi cogitado que esses corpos de prova teriam o maior índice de vazios em seu interior, o que permitiria o preenchimento com água, consequentemente, aumentando o índice de absorção de água (Gráfico 5).

Gráfico 5: Medias e desvios padrão dos grupos P, F2,4 e F2,51 do teste de absorção de água, em porcentagem



Fonte: Autor

O cruzamento dos dados de volume e densidade das amostras cilíndricas, junto às informações ligadas ao teste de absorção de água, levam a constatação de quais grupo de teste possuem maior índice de porosidade. O que, para Lima (2020) e Matos (2017), é um forte indicativo de que as amostras F2,51 apresentariam uma performance inferior nos ensaios de compressão, pois o que interfere diretamente nos índices de absorção de água (os vazios internos das amostras), são inversamente proporcionais à fragilidade dos corpos de prova à compressão.

Entretanto, a suposição inicial era que todas as amostras com FCV teriam maior índice de absorção quando comparadas com o grupo P, devido a superfície da fibra ter a possibilidade de aumentar a porosidade do material, como sugerido por Lima (2020) ao falar do aproveitamento de RCC em condições similares. O que não foi o caso, já que o conjunto F2,4 obteve valores similares ou menores de absorção em relação as amostras padrão, com exceção do corpo de prova F2,4A3.

Existem três hipóteses para justificar/explicar tal comportamento:

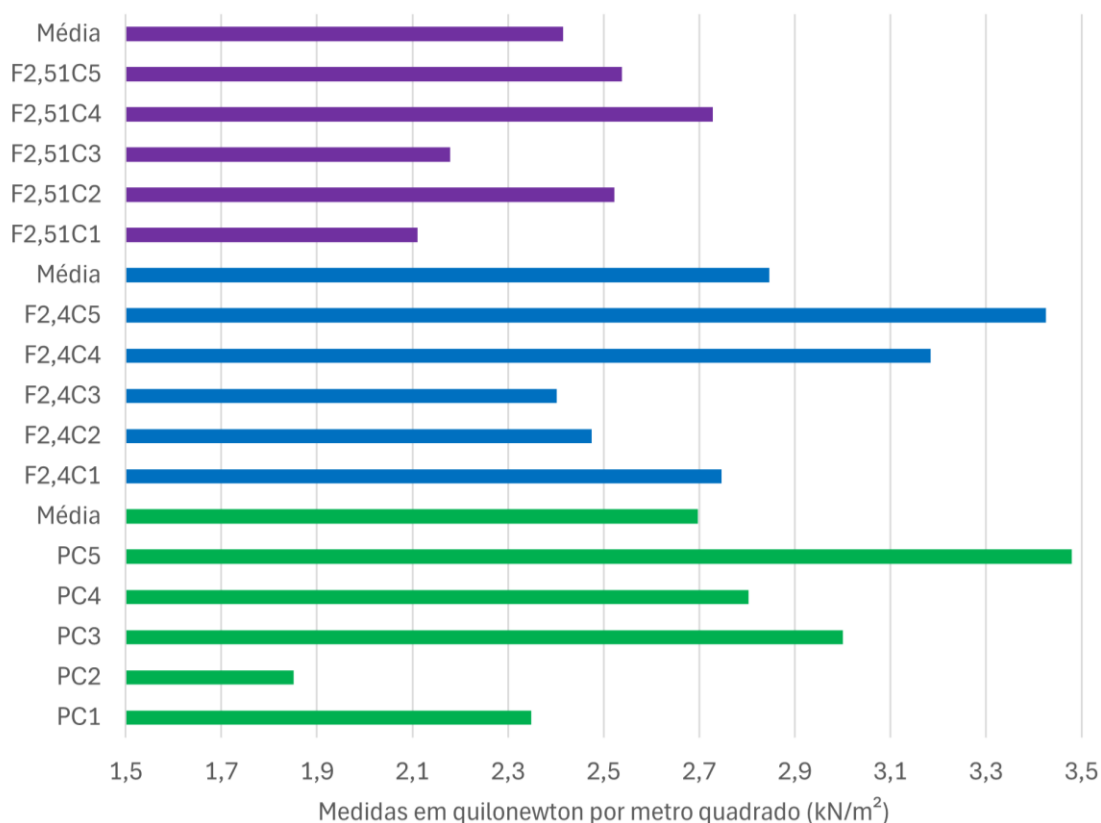
- A argamassa que envolve a superfície porosa da fibra a impermeabiliza;
- Os poros internos foram preenchidos pela FCV, reduzindo os espaços que poderiam ser ocupados por água;
- No tempo que as amostras com FCV ficaram imersas na câmara úmida, as fibras absorveram água. Que posteriormente foi isolada devido a impermeabilização que a argamassa poderia oferecer a FCV.

Os demais dados relativos ao ensaio de absorção de água estão localizados no Apêndice B.

6.3 Compressão

Os resultados relacionados aos ensaios de compressão mostraram que as amostras com FCV quando bem compactadas podem apresentar um desempenho superior as do grupo padrão (Gráfico 6).

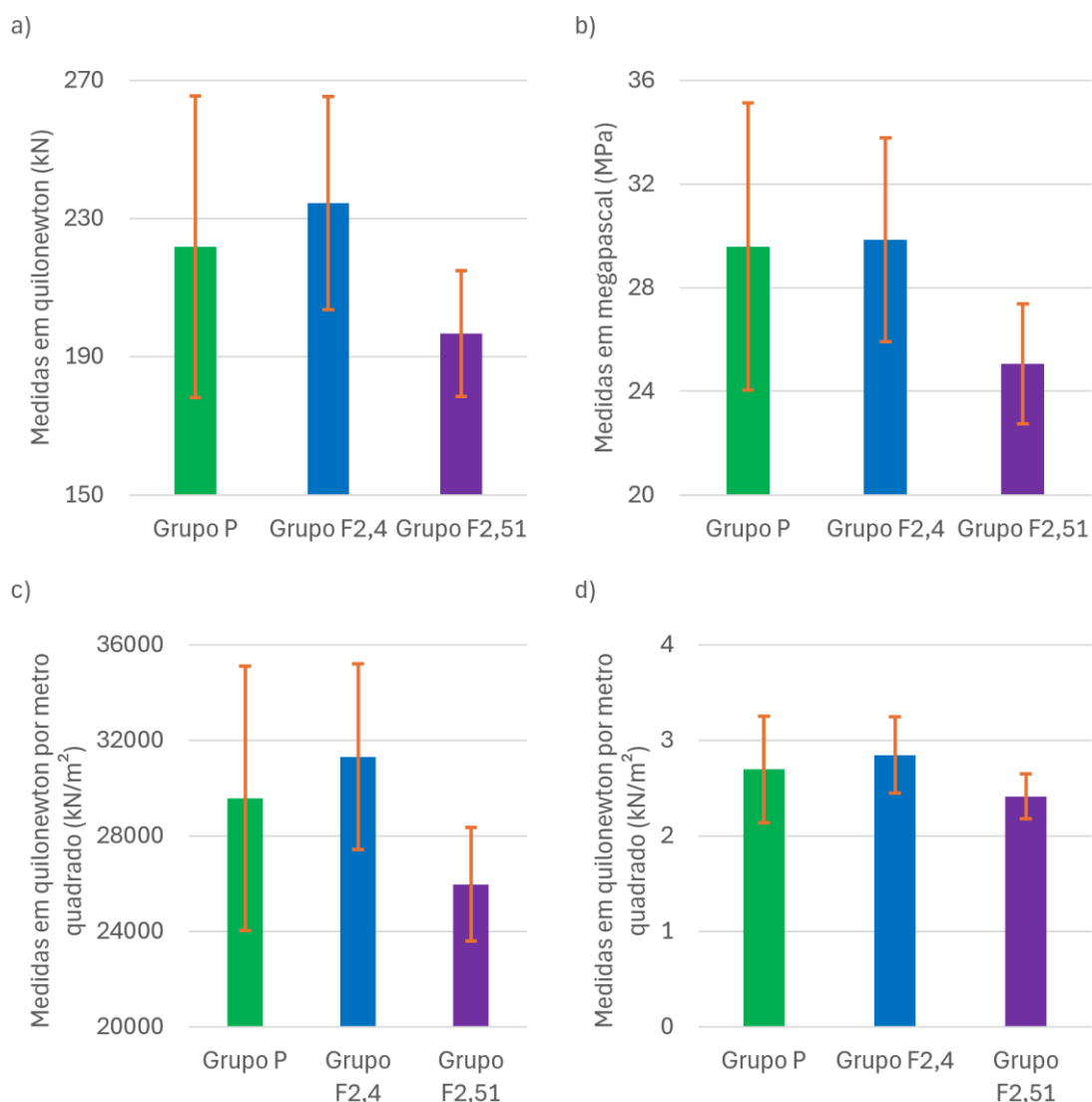
Gráfico 6: Resultados dos ensaios de compressão pós aplicação do fator de correção, segundo a NBR 5739



Fonte: NBR 5739 (ABNT, 2018) e o Autor.

Todavia, o aumento na resistência à compressão só foi possível pela compactação que os grupos P e F2,4 tiveram em comparação ao F2,51. Questão que fora exposta por Matos (2017) ao relacionar a porosidade com a redução na resistência de argamassas e por Lima (2020) que relacionava a granulometria com o aparecimento de superfícies porosas. Junto a isso, foi demonstrado, por meio de evidência fotográfica (Figura 16), que os corpos de prova do grupo F2,51 cilíndricos apresentavam porosidade (Gráfico 5) superficial maior que as do grupo padrão P, o que não impede que essas amostras tenham o mesmo comportamento em suas partes internas. Essa foi a razão encontrada para que as amostras F2,51 fossem menos resistentes a compressão que as do grupo F2,4 (Gráfico 7).

Gráfico 7: Resultados do ensaio de compressão, média e desvio padrão. a) Força aplicada registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; b) Resistência registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; c) Tensão de ruptura calculada após os testes de compressão e d) Cálculo da resistência pós aplicação do fator de correção segundo NBR 5739



Fonte: Autor.

Além disso, ao observar o gráfico de teste de absorção de água (Gráfico 5) é possível perceber que o comportamento expresso anteriormente fica mais evidente.

Já ao comparar os grupos P e F2,4, a porosidade presente nesses materiais pode ser deixada de lado, pois, como visto nos resultados do teste de absorção de água (Gráfico 5), a diferença entre a capacidade de preenchimento das amostras por esse líquido é inferior a 0,5%, considerando a média entre os grupos. Razão pela qual pode-se afirmar que a adição da FCV permitiu ao conjunto F2,4 performar melhor que sua contraparte sem FCV.

A ruptura apresentada pelos dois tipos de amostra, sem e com FCV, têm características diferentes de rompimento. As do grupo P apresentaram rupturas do tipo frágil. Quando uma

força é aplicada em um ensaio de compressão, é possível que as amostras apresentem pontos de ruptura perpendiculares a base circular de apoio. Logo, como as fibras permitiram que as amostras do grupo F2,4 permanecessem mais conservadas que as do grupo P, é possível que a resistência do material a esforços de tração interfira ativamente na capacidade de compressão que determinada amostra pode suportar.

Uma vez que é esse processo gerou o tipo de fratura registrada. Então, ampliar a resistência a tração no eixo perpendicular a base circular é essencial para que uma amostra suporte cargas maiores de compressão. O comportamento descrito pode ser exemplificado pela fotografia a seguir (Figura 17).

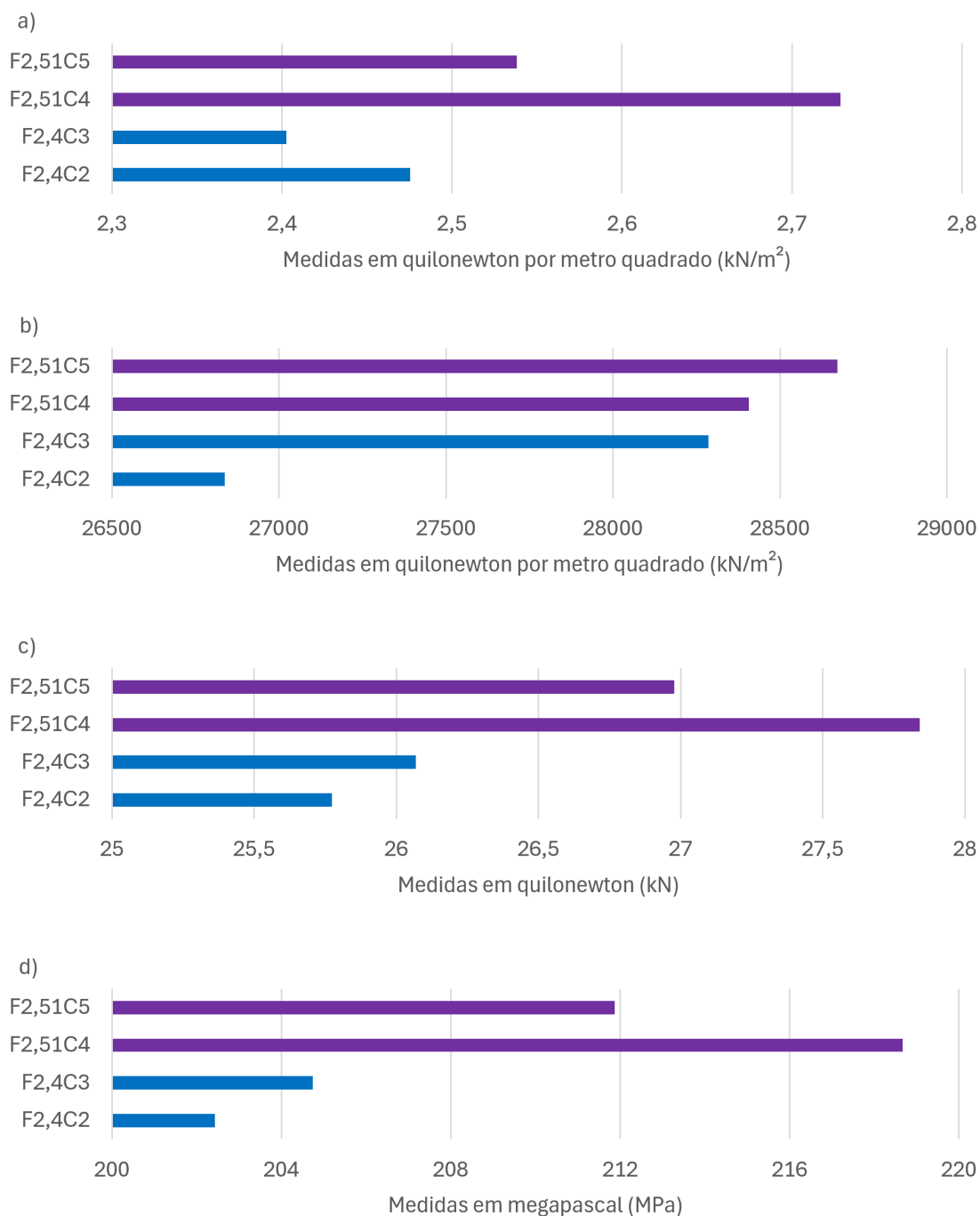
Figura 17: Comparação entre rupturas das amostras do grupo P (fileira superior) e grupo F2,4 (fileira inferior)



Fonte: Autor.

Um resultado interessante está relacionado as amostras F2,4C2, F2,4C3, F2,51C4 e F2,51C5. Onde as amostras F2,4C2 e F2,4C3 apresentam comportamento anormal no Cálculo da resistência pós fator de correção, segundo NBR 5739 (ABNT, 2018), quando relacionado aos demais gráficos. Já as amostras F2,51C4 e F2,51C5 apresentam essa mesma inversão de valores no gráfico do Cálculo da tensão de ruptura (Gráfico 8).

Gráfico 8: Comportamentos anormais relacionados as amostras F2,4C2, F2,4C3, F2,51C4 e F2,51C5 nos resultados de: a) Cálculo da resistência pós fator de correção segundo NBR 5739; b) Cálculo da tensão de ruptura; c) Resistência registrada pela máquina de ensaio; d) Força máxima registrada pela máquina de ensaio



Fonte: Autor.

Entretanto, após avaliação foi constatado que essa divergência entre os resultados é válida. Pois, os resultados dos gráficos “a” e “b” são decorrentes de uma divisão, ou seja, o valor do quociente é diretamente proporcional ao dividendo e inversamente proporcional ao divisor (mesmo princípio usado para explicar o aumento e redução dos valores de densidade). Então, esses valores quando aplicados em suas respectivas fórmulas apresentaram divergências que podem ser tidas como normais, já que o equilíbrio entre esses números causou a inversão

dos resultados destacados nessas amostras. Mais informações relacionadas ao ensaio de compressão encontram-se localizadas no Apêndice C.

6.4 Flexão

O teste de flexão foi o que apresentou maior quantidade de percalços. Começando pela ausência parcial dos resultados registrados tanto do grupo P, quanto do grupo F2,4. As amostras PF1 e PF2 não tiveram seus resultados registrados pela máquina de ensaio. Já o corpo de prova PF3 apresentou resultados fora da normalidade relativos à força aplicada e resistência registrada no momento da ruptura, razão pela qual optou-se por não considerar esses dados válidos para participar da análise. Já a amostra F2,4F1 apresentou o mesmo problema das amostras PF1 e PF2, problema que foi solucionado pelo técnico do laboratório onde os ensaios foram conduzidos posteriormente. Já as demais amostras do grupo F2,4F e F2,51F tiveram seus resultados registrados pelo equipamento. O registro geral dos dados coletados está localizado no Apêndice D.

Levando em consideração as deduções obtidas durante o ensaio de compressão (que as fibras conseguiram estabilizar o eixo vertical, perpendicular a base circular, melhorando as propriedades relacionadas a tração dos corpos de prova testados), foi possível perceber o mesmo comportamento durante os testes. Já que durante a flexão, parte do objeto que se encontra acima da linha neutra sofre compressão, enquanto a que está abaixo é tracionada. Motivo que permitiu as amostras dos grupos com fibras não apresentarem uma fratura frágil. Pois a FCV oferecia a estrutura do bloco ductibilidade para não se romper totalmente (Figura 18).

Figura 18: Fotografia após a realização do ensaio de flexão. Destacando a ruptura parcial impedida pela FCV



Fonte: Autor.

Além disso, é possível perceber que o comportamento relacionado aos tipos de ruptura é consistente com o documentado nos ensaios de compressão (Figura 19).

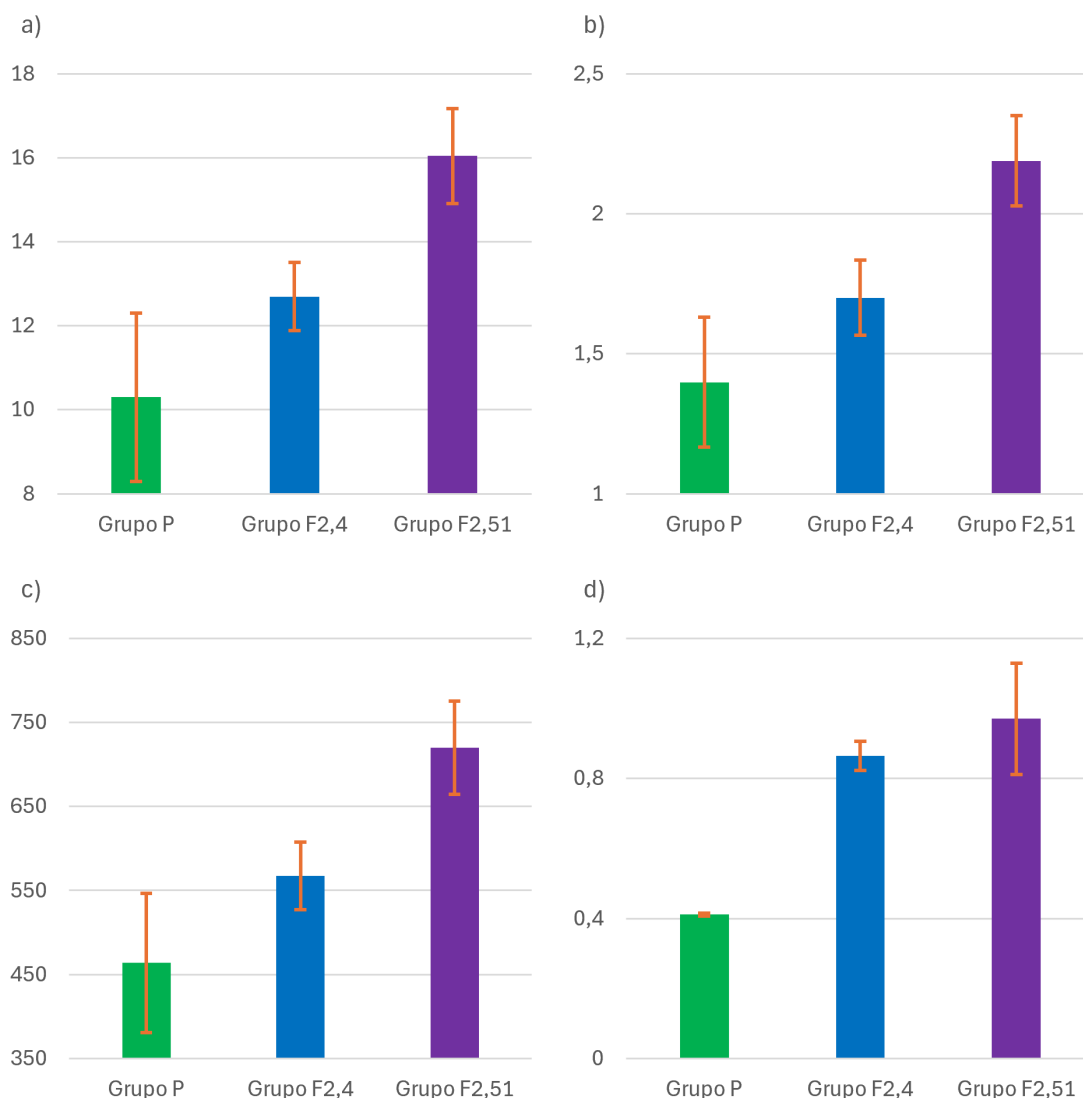
Figura 19: Comparação entre rupturas das amostras dos que possuem e não possuem FCV em sua composição



Fonte: Autor.

Os fatores ligados tanto a força aplicada e resistência registrada no momento da ruptura quanto ao cálculo da tensão de ruptura apresentam um comportamento harmônico e regular. Em que o grupo P aparece com a menor média numérica e o maior desvio padrão seguido pelos grupos F2,4, em segundo lugar, e o conjunto F2,51, na primeira colocação (Gráfico 9).

Gráfico 9: Resultados do ensaio de flexão da média com desvio padrão. a) Força aplicada registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; b) Resistência registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; c) Tensão de ruptura calculada após os testes de compressão e d) Cálculo da resistência pós aplicação do fator de correção segundo NBR 12142.



Fonte: Autor.

Todavia, após realizar os cálculos requeridos pela NBR 12142 (ABNT, 2010) para determinar a resistência a flexão, as fórmulas usadas na correção das informações reduziram o desvio padrão nos grupos P e F2,4 e o aumentou no grupo F2,51.

A razão que permitiu considerar os resultados confiáveis foi o local onde ocorreu a fratura, que é levado em consideração para determinar qual equação será usada para determinar o fator de correção usado naquela amostra, computando posteriormente resistência a flexão segundo a NBR 12142 (ABNT, 2010). Logo, as diferenças registradas no desvio padrão, entre 16 e 19 %, em comparação com as grandezas demonstradas nos gráficos, antes da aplicação dos fatores de correção, reduzia a confiabilidade dos dados.

No entanto, a aplicação do fator de correção, reduziu o desvio padrão do grupo P para menos de 1 %. Enquanto no grupo F2,4 o desvio padrão foi reduzido para 4,84 %, o que representa uma redução de mínima de 1,52 %, e máxima de 2,99%. Já o grupo F2,51 teve um aumento percentual aproximado de 8,97 % em seu desvio padrão após a aplicação dos fatores de correção, ainda mantendo a média mais alta entre os grupos.

O comportamento diametralmente oposto do grupo P em comparação ao conjunto F2,51 com relação aos resultados voltados à flexão pode ser justificado pela aplicação das equações propostas pela NBR 12142 (ABNT, 2010) como fatores de correção. Uma vez que os resultados do grupo P precisaram da aplicação da equação *a*, enquanto no grupo F2,4 foi usada equação *b*. O que ofereceu a esses grupos uma consistência nos cálculos para determinar seus resultados. Já as amostras do grupo F2,51 apresentavam corpos de prova onde foram utilizados um dos dois cálculos descritos pela NBR 12142 (ABNT, 2010). Isso intensificou as discrepâncias entre os valores mínimos e máximos registrados, justificando o acréscimo no desvio padrão observado.

Outro fator que ofereceu confiabilidade aos resultados das amostras com FCV é a pequena diferença de porosidade entre elas, que pode ser evidenciada pelos dados expostos na secção de propriedades físicas. Isso permitiu descartar a diferença de vazios das amostras com FCV como um fator relevante para a análise dos dados de flexão.

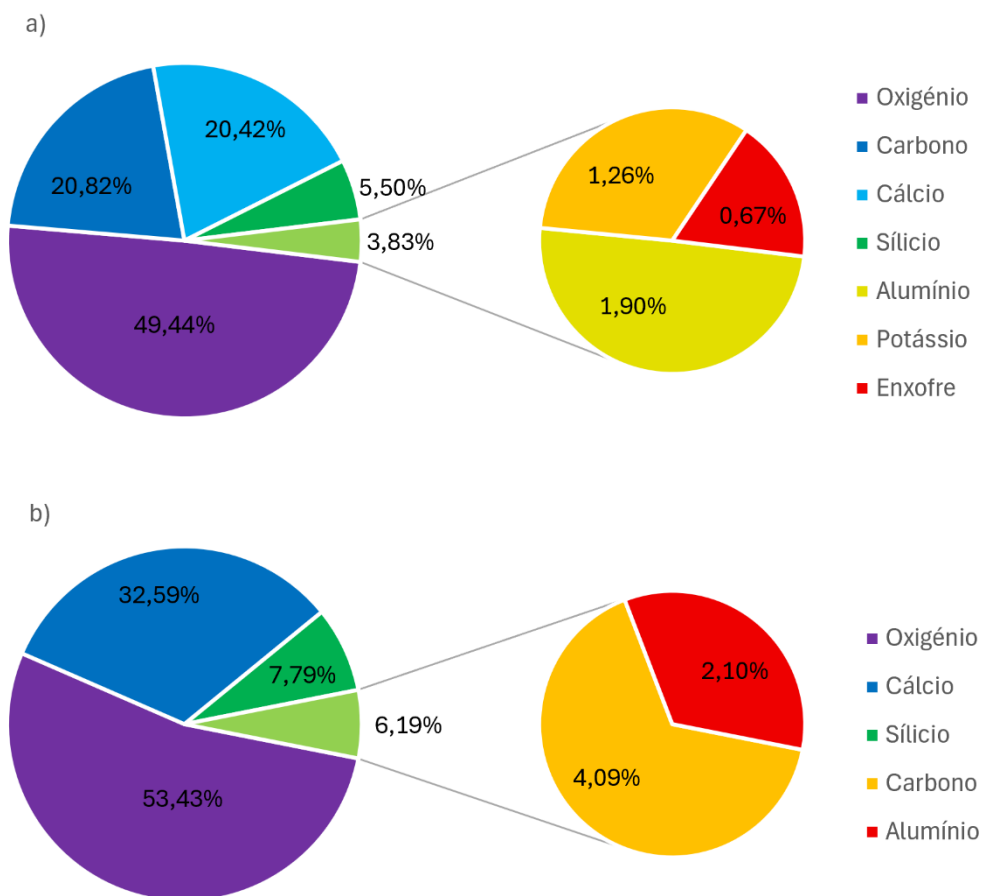
Ademais, as deduções relatadas através do ensaio de compressão permitiram deduzir que a adição de FCV melhora a resistência daquele material a esforços de tração.

Com isso, apesar da ausência dos dados das amostras do grupo P, ainda é possível considerar os resultados registrados como válidos pelo conjunto de argumentos apresentados previamente.

6.5 Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

Pelo EDS fornecer tanto quantidade quanto os elementos químicos presentes em determinado trecho das amostras (Duarte *et al.*, 2003), observa-se a presença dos elementos Potássio (K) e Enxofre (S) apenas no EDS da amostra que contém fibra, e os elementos Oxigénio (O) e Alumínio (Al) mantém suas posições em ambos os resultados, de primeiro e quinto lugar respectivamente. Há uma permutação na concentração dos elementos Carbono (C), Cálcio (Ca) e Silício (Si) (Gráfico 10).

Gráfico 10: Concentração de peso dos elementos em porcentagem; a) amostra com FCV; b) amostra sem FCV



Fonte: Autor

O K aparece no EDS devido a sua presença na casca do coco verde (Rosa *et al.*, 2009). Além disso, a presença desse elemento não é restrita somente a casca do fruto como reforçam Medina (1980) e Lavoyer *et al.* (2013). Isso justifica a presença do K no EDS realizado na amostra com FCV.

Já a presença do S pode ser justificada por Sobral (2009), em que a ausência desse nutriente no solo pode prejudicar as folhas do coqueiro, tornando-as amareladas ou alaranjadas, causando necrose, interferindo no processo de fotossíntese dessa planta. Além disso, o autor complementa que a deficiência severa desse elemento pode diminuir ou zerar o número de frutos gerados por essa planta. Outra justificativa para a existência de S no EDS da amostra com FCV é por ele ser um elemento que pode constituir o cimento (Chiaverini, 1986).

E o C pode ter relação direta com a presença ou não da FCV. Uma vez que a amostra que possui FCV possui aproximadamente 15% a mais de peso relativo ao C em comparação com a amostra que não possui FCV.

O O, Al, Ca e Si são colocados por Chiaverini (1986) como elementos que podem compor o cimento. Como mostra o quadro a seguir (Quadro 11):

Quadro 14: Componentes presentes no cimento

Elemento	Abreviação	Concentração (%)
Óxido de Cálcio	CaO	60 a 67
Dióxido de Silício	SiO ₂	17 a 25
Óxido de Alumínio	Al ₂ O ₃	3 a 8
Óxido de Ferro (III)	Fe ₂ O ₃	0,5 a 6
Óxido de Magnésio	MgO	0,1 a 6
Óxido de Enxofre (VI)	SO ₃	1 a 3

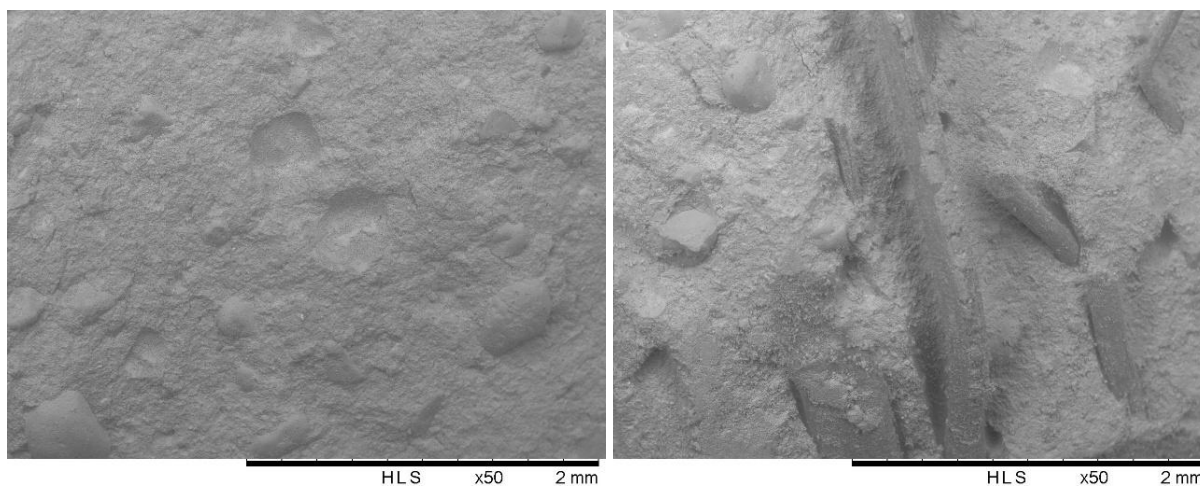
Fonte: Chiaverini (1986)

Já a areia pode ser composta exclusivamente de SiO₂, já que a sua mineração é realizada em terrenos aluvionares ou em solos residuais (Sabbatini, 1998). Os demais dados relacionados ao EDS estão localizados no Apêndice E.

6.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As análises realizadas através das imagens resultantes do MEV não possuem grandes ampliações. Pois o objetivo é reconhecer padrões no decorrer da superfície fraturada, identificando a matriz e a fase dispersa. A seguir são apresentadas imagens que visam demonstrar a distinção entre as amostras com e sem FCV (Figura 20).

Figura 20: MEV 50x. A esquerda - amostra sem FCV; A direita - amostra com FCV



Fonte: Autor

Enquanto a argamassa apresenta uma textura áspera, a FCV possui um aspecto visual parecido com um fio de superfície lisa com pequenas pintas (que provavelmente são parte da argamassa que não se desagregaram da FCV após a fratura da amostra).

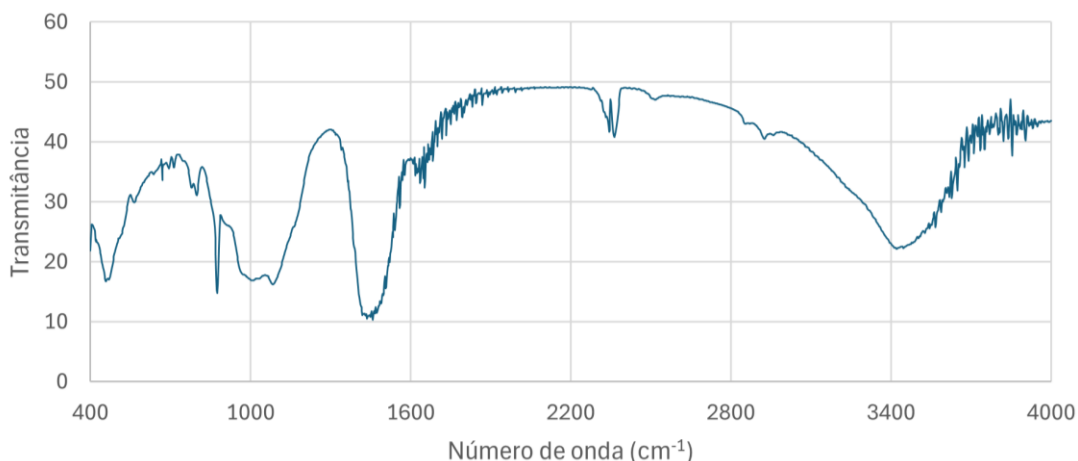
Dessa forma, pela inspeção visual é possível considerar que o material pode ser considerado um compósito pela descrição da por Callister (2000), Chiaverini (1986) e Moreira (2009).

Os demais dados relacionados aos MEVs estão localizados no Apêndice F.

6.7 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Como explicado anteriormente, o FTIR apresenta seus resultados através de um gráfico que demonstra através dos seus picos possíveis atribuições de determinados grupos funcionais químicos. O gráfico a seguir foi gerado através do pó do corpo de prova do grupo padrão (Gráfico 11).

Gráfico 11: FTIR, amostra sem FCV



Fonte: Autor

O que deve ser levado em consideração ao se avaliar esses resultados é considerar o pico dos gráficos como os menores valores de transmitância. Pois, é a partir desse pico ou banda que é possível determinar quais grupos funcionais estão relacionados a determinado número de onda. A seguir são apresentados alguns grupos funcionais relacionando-os ao seu número de onda (Quadro 12):

Quadro 15: Possíveis atribuições associadas aos respectivos comprimentos de onda

Possível atribuição	Abreviação	Número de onda (cm ⁻¹)	Referências
Dióxido de Silício	SiO ₂	640-980	(Lopes, 2020)
Silicato de cálcio hidratado	CSH	900-1100	(Lopes, 2020; Piqué e Vázquez, 2019)
Radical carboxila	CO ₂ H	1651-1742	(Oliveira <i>et al.</i> , 2018)
Carbonato de Cálcio	CaCO ₃	2500-2550 e 2800-3000	(Piqué e Vázquez, 2019)
Radical hidroxila	OH	2500-4000	(Pavia <i>et al.</i> , 2015; Piqué e Vázquez, 2019)

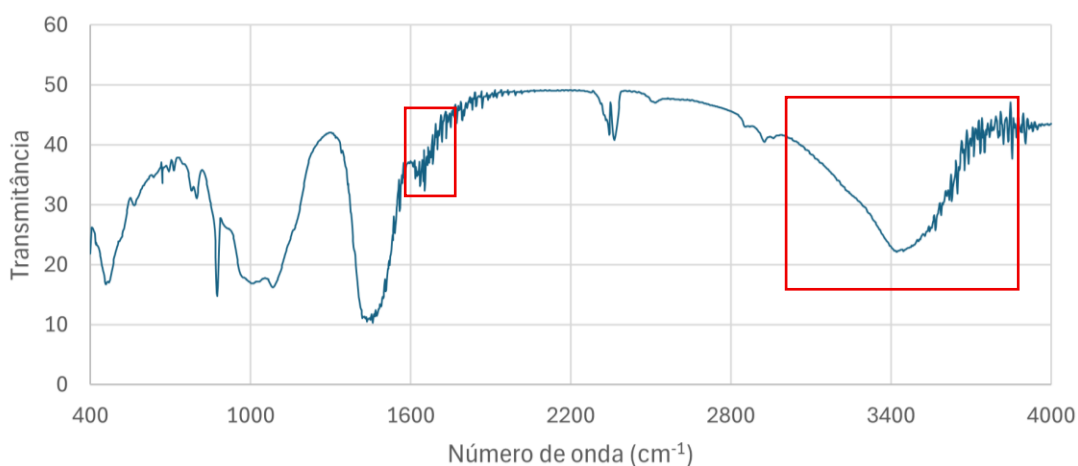
Fonte: Listadas.

É importante destacar que o elemento mais recorrente dentre essas possíveis atribuições é o O, seguido do H e C, e por último os elementos Ca, S e Si. Logo é possível atribuir a presença de radicais hidroxila a recorrente aparição do O e do H em diversos grupos funcionais.

Oliveira *et al.* (2018) identificou a presença do radical carboxila entre no comprimento de banda 1651 a 1742 (Gráfico 12) que seria correspondente a um elemento da FCV, infelizmente os outros gráficos também apontam a presença desse grupo funcional nas amostras com e sem FCV e nos materiais que compõem essas misturas.

Para Piqué e Vázquez (2019), a presença do grupo OH pode ser explicado pelo comportamento hidrocópico do KBr (material usado para diluir o pó das amostras analisadas) e/ou pela umidade residual presente na argamassa. Em ambos as explicações, a aparição de água (H_2O) é vista no FTIR pela banda 3000-4000 (Pavia *et al.*; 2015) (Gráfico 12).

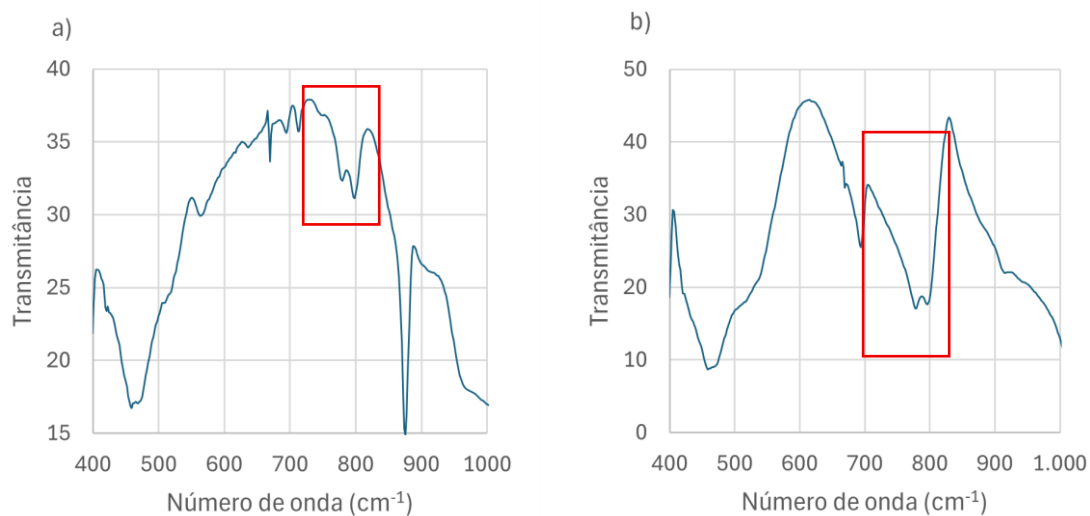
Gráfico 12: Identificação do grupo funcional OH e CO_2H , amostra sem FCV



Fonte: Autor

A presença de Si pode ser identificada, segundo Lopes (2020), por picos na faixa de 640 e 980 que correspondem ao grupo funcional SiO_2 . Por esse elemento ser encontrado recorrentemente na areia (Sabbatini, 1998) foi preciso realizar uma ampliação nos FTIRs das amostras resultantes do grupo P e da areia. Essa ampliação evidenciou um conjunto de picos que se adequa a descrição fornecida por Lopes (2020). Além disso, a redução desses picos na amostra padrão podem indicar a diluição desse grupo após o processo de cura da argamassa, fazendo com que o SiO_2 fosse quebrado e re combinado de outras formas (Gráfico 13).

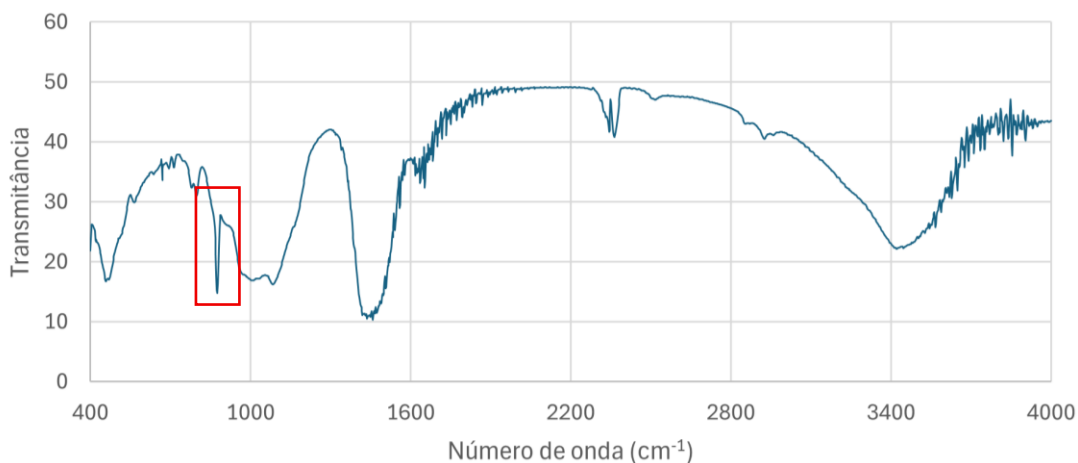
Gráfico 13: Identificação do grupo funcional SiO_2 , recorte na faixa 400-1000. a) Amostra sem FCV. b) Amostra de areia



Fonte: Autor

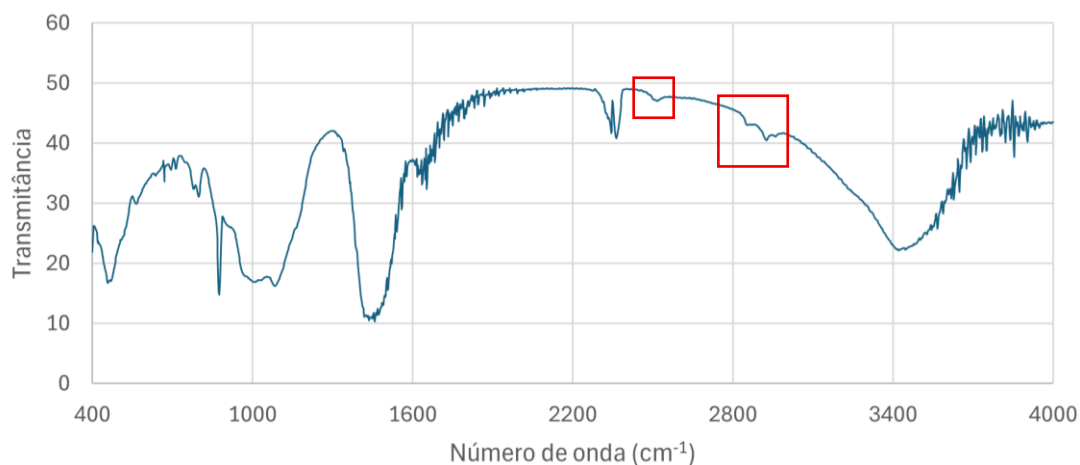
O grupo funcional CSH apresenta uma divergência entre o número de onda associado a ele. Para Piqué e Vázquez (2019) a faixa relacionada a esse grupo é $970\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$, enquanto para Lopes (2020) é $900\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$. E o surgimento para esse grupo funcional é resultado da hidratação da argamassa (Piqué e Vázquez, 2019).

Gráfico 14: Identificação do grupo funcional CSH, amostra sem FCV



Fonte: Autor

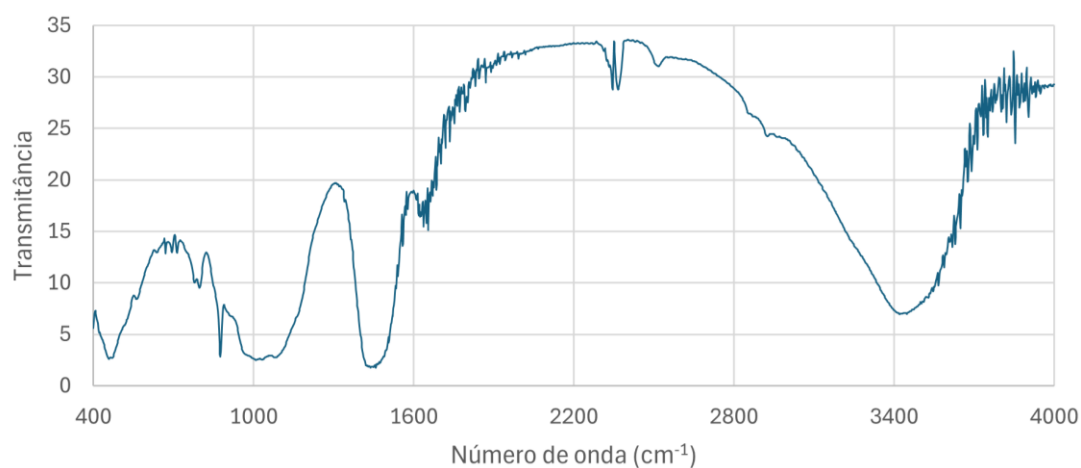
Por fim, o grupo funcional CaCO_3 é identificado por um pico entre o comprimento 2500-2550 e 2800-3000 (Piqué e Vázquez, 2019). Nenhum dos autores chega a explicar as razões para essa possível atribuição ao CaCO_3 (Gráfico 15).

Gráfico 15: Identificação do grupo funcional CaCO_3 , amostra sem FCV

Fonte: Autor

Ao avaliar a amostra com FCV ficou evidente que os resultados gráficos não divergem do comportamento demonstrado pela amostra sem FCV (Gráfico 16):

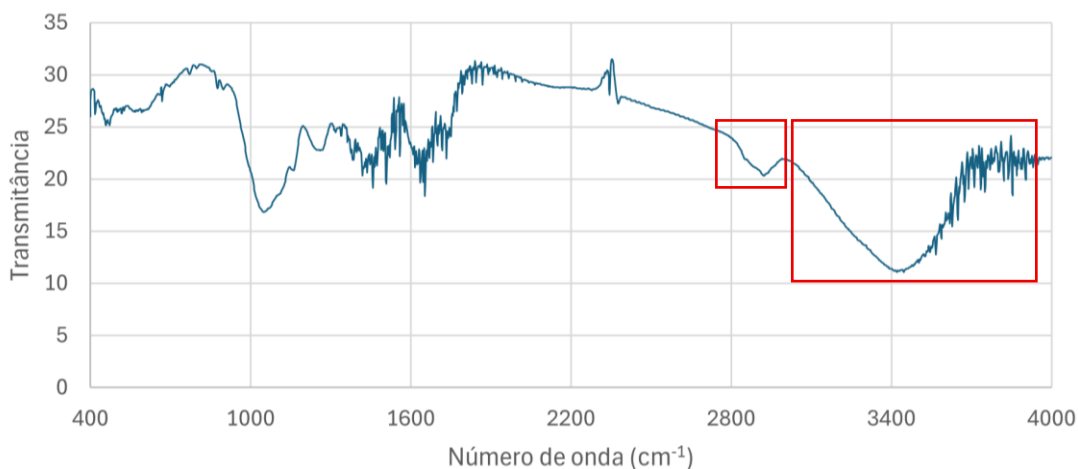
Gráfico 16: FTIR, amostra com FCV



Fonte: Autor

O que levanta a seguinte questão: por que os grupos funcionais da FCV não foram reconhecidos durante o FTIR? Para sanar essa pergunta é necessário demonstrar o gráfico desse material (Gráfico 17):

Gráfico 17: Destaque dos grupos funcionais OH (3000-4000) e CaCO_3 (2800-3000), amostra de FCV



Fonte: Autor

A amostra de FCV diluída em KBr apresenta pontos em comum com as pastilhas de argamassa e argamassa com FCV, como por exemplo pelas bandas que evidenciam os radicais hidroxila (3000-4000) (Pavia *et al.*, 2015; Piqué e Vázquez, 2019) e o CaCO_3 (2800-3000) (Piqué e Vázquez, 2019).

Sendo assim, é possível conceber quatro linhas de raciocínio sobre o resultado da amostra com FCV:

- Uma suposição possível para o comportamento idêntico das amostras com e sem FCV é que ela reagiu quimicamente com a argamassa, criando grupos funcionais similares a amostra sem FCV, o que viabilizaria o mascaramento da fibra no FTIR realizado.
- Ou é possível que a pastilha confeccionada não possuía FCV em sua composição. Essa suposição pode demonstrar que houve um equívoco no preparo da pastilha da amostra com FCV. Que durante a maceração do corpo de prova com fibra não foi possível transformar a fibra em pó para a análise. Isso reforça a dificuldade de transformar a FCV em pó, que fora retirada indevidamente para a confecção da pastilha.
- No entanto, apesar da dificuldade em macerar a FCV, não é evidente que esse processo não tenha ocorrido parcialmente o que reforça a segunda colocação sobre o resultado.

Os demais dados relacionados ao FTIR estão localizados no Apêndice G.

7 CONCLUSÕES

Para desenvolver essa pesquisa foi preciso transitar por diversas áreas do conhecimento, algo que foi essencial para evidenciar o conflito entre as concepções apresentadas por diferentes autores sobre as temáticas exploradas. Essa defesa de ideias sobre a sustentabilidade permitiu avaliá-la a partir de diferentes ângulos.

O que possibilitou a identificação de um aspecto comum, apesar das visões distintas acerca desse tema, chegando a sua essência, que é a preocupação com o bem-estar humano no futuro (Ashby e Johnson, 2010; Manzini e Vellozi, 2011; Pinho e Zandomenighi, 2023, 2024; Reed, 2007; Santos *et al.*, 2018a; 2018b; 2019). Por essa preocupação abranger o mais distante dos amanhãs, ela deve ser passada as próximas gerações em um processo de sucessão de costumes e ensinamentos infinitos. Infelizmente, divulgar as implicações da sustentabilidade, tanto no presente quanto no futuro, não significa que as pessoas estejam dispostas a compreender o que isso significa na mudança de suas próprias atitudes ou daqueles ligados a elas.

Pelo mundo ser um local complexo, mesmo ações simples como a compra de um coco verde podem gerar consequências não planejadas pelo consumidor que apenas desejava apreciar a água em um dia quente. É claro que o ideal é reconhecer e mudar os padrões que prejudiquem o universo habitado (Terra), mas essa virtude é desconhecida ou impraticável para muitas pessoas. Logo, o que resta para as pessoas comuns é tentar modificar suas atitudes, pautando sua vida em aspectos que ultrapassem o efêmero, aqui representado pelo consumo.

Ademais, organizações internacionais apresentam uma visão e metas sobre a sustentabilidade que são utópicas e impraticáveis, demandando dos pilares ambiental, econômico e social interações que beiram o altruísmo social em massa. Por isso, melhorar as condições financeiras e naturais distribuem benefícios sociais de maneira equivalente. Razão para considerar que exista um excesso de fatores sociais interferindo no desenvolvimento de soluções com maior influência a curto/médio prazo. Em outras palavras, melhorar as condições econômicas e ambientais trarão a inevitável melhora nas condições sociais das pessoas.

Outro ponto importante é a pesquisa em compósitos, que possui grande importância para o desenvolvimento de tecnologias e alteração da realidade. Já que são esses materiais que farão parte dos produtos comercializados daqui a alguns anos.

Por isso, compreender o limite de cada elemento antigo ou novo é o que permite a aplicação da matéria em diferentes contextos da melhor forma possível. Então, sugerir a mistura

de materiais geram novas formas do designer se comunicar com o mundo através da aplicação das combinações antes desconhecidas, intervindo no ambiente ativamente, como no uso de *Possidonia oceânica* (Evangelista *et al.*, 2021). Em que os pesquisadores almejavam usar essa espécie para desenvolver um material útil. Já que seu odor desagradável e estética repulsiva era incomoda as pessoas, eles usaram essa matéria-prima indesejada para criar algo.

Razão pela qual a pesquisa em materiais deve ser realizada mesmo sem a aplicação imediata em produtos. Pois, suas propriedades podem ser refinadas ou preencherem requisitos para utilidades futuras. O que expande as formas de alterar a realidade, possibilitando soluções diversas para um mesmo problema.

É na expansão do diálogo que o homem tem com a matéria que cadeias produtivas, como a da construção civil, podem ser modificadas com o passar do tempo. Já que a intervenção incisiva e imediata geraria o desequilíbrio entre os pilares sustentáveis. Por isso, apostar em soluções menores permitem a modificação parcial de determinado setor sem que ele perca seu propósito inicial (Kazazian, 2005).

Ademais, a intervenção em menor escala possibilita a aplicação de diversas alternativas testes sem comprometer a estrutura já estabelecida, permitindo a avaliação e seleção da melhor decisão para satisfazer as demandas exigidas por essa cadeia produtiva.

Com relação a aquisição da FCV, foi constatado que um processo de aquisição não mecanizado produz uma pequena quantidade desse material.

Então, levando em consideração que a aplicação das fibras está vinculada a produção de blocos de argamassa, que possam ser utilizados como alvenaria de vedação não estrutural, o ideal é articular os agentes interessados em produzir esse material através da aplicação da simbiose industrial (Manzini e Vezzoli, 2011).

Essa percepção foi o que modificou o processo de aquisição da FCV, uma vez que a baixa produção não permitia a realização dos testes propostos por essa pesquisa. O que levou a compra da FCV.

Com a obtenção da FCV foi iniciada a confecção dos corpos de prova, que ocorreram naturalmente nos grupos P e F2,4. Entretanto, o grupo F4,4 teve que ter sua concentração modificada de 4,4% para 2,51% o que causou sua renomeação para F2,51.

Além disso, foi constatado que dois fatores interferiram na confecção do grupo F4,4: (1) Redução da quantidade de água anteriormente utilizada durante a confecção do grupo P; (2) Percepção de perda de trabalhabilidade da argamassa maior que o grupo F2,4.

Após isso, o conjunto F2,51 não passou pelo mesmo processo de compactação dos demais grupos de amostras. O que interferiu nos ensaios de absorção de água e compressão.

Quanto aos resultados do MEV, foi constatado a distinção entre a matriz cimentícia e a fase dispersa, FCV. Isso permitiu classificar o material como um compósito segundo as definições de Callister (2000) e Chiaverini (1986).

Já o EDS apresentou a composição elementar básica dos grupos com e sem fibra. Através desses dados foi possível pesquisar por artigos que indicassem os grupos funcionais identificados no FTIR. Esse cruzamento de dados comprovou o uso dos materiais selecionados para o desenvolvimento da matriz cimentícia.

Entretanto, a ausência de picos e bandas ligados a FCV no gráfico do compósito com FCV levantou dúvidas sobre a presença da fibra nesse FTIR. Pois, com exceção dos radicais hidroxila (comuns a todos os FTIRs) e da possível atribuição ao CaCO_3 (comum com os FTIRs da areia e dos grupos com e sem FCV), nada evidencia a presença da FCV na pastilha confeccionada. O que tornou a análise do FTIR do grupo com fibra inconclusiva.

A adição da FCV nos grupos F2,4 e F2,51 aumentaram o volume médio das amostras em troca de uma redução de suas massas. O que resultou na diminuição da densidade das amostras que continham FCV.

Além disso, foi constatado através dos resultados dos ensaios de compressão e de flexão, que as fibras melhoram a resistência mecânica aos esforços de tração. O que permitiu ao conjunto F2,4 obter uma performance superior ao grupo P nos testes de compressão. Enquanto os altos níveis de porosidade, comprovados pela densidade média e índice de absorção de água, das amostras F2,51C reduziram sua resistência a compressão. Ao que já tinha sido exposto por Lima (2020) e Matos (2017), o que não gerou surpresas durante a análise.

Já os resultados ligados a flexão, demonstraram a superioridade mecânica do grupo F2,51F. Isso comprova como a adição de FCV melhora a resistência mecânica da matriz cimentícia a esforços de tração, além de levantar a seguinte questão: Qual porcentagem de fibra poderia atingir melhores resultados em ambos os testes?

Dessa forma, é possível concluir que a adição de FCV em matrizes cimentícias provoca:

- O aumento do volume ocupado por essa mistura;
- A redução da massa desse material;
- A redução da densidade da mistura;
- A melhora da matriz a esforços de compressão e flexão através da melhoria da resistência mecânica a tração.

Apesar dos baixos índices de substituição, o uso da FCV como um agregado a esses blocos, quando é considerada a utilização das fibras em um contexto industrial, pode instigar um aproveitamento mais amplo desse rejeito. O que prolonga o tempo de utilidade do fruto, reduzindo a quantidade de material descartado após o consumo da água.

Por fim, o compósito desenvolvido apresenta grande potencial de aplicação no setor da construção civil, podendo compor outras funções, além da proposta durante a pesquisa (vedação não estrutural), devido aos resultados mecânicos apresentados.

8 PESQUISAS FUTURAS

É evidente que as comprovações descritas nessa pesquisa devem ser colocadas a prova em outros estudos. Por isso, é possível expandir os conhecimentos relativos a esse material ao responder as questões listadas a seguir:

- Como aplicar a simbiose industrial entre o setor da construção civil e os agentes ligados ao cultivo, venda e descarte do coco verde?
- A interação entre a FCV e a matriz cimentícia provoca algum desgaste na estrutura molecular da FCV?
- O material desenvolvido se adequa aos parâmetros de segurança ligados a ocorrência de incêndio e suporte de carga predeterminada?
- Qual o efeito temporal na performance desse material em diferentes cenários?
- De acordo com a condutibilidade térmica do compósito, ele é adequado a que tipo de clima?

Assim, acredito que as questões anteriores revelem outras propriedades importantes para a aplicação do compósito desenvolvido no contexto da construção civil. Por fim, o uso da FCV não deve se limitar apenas ao setor destacado nessa pesquisa. É imprescindível expandir os limites desse material ao conceber outras maneiras da FCV compor produtos por causa de

suas características, sendo escolhida por sua performance adequar-se melhor a aplicação proposta.

REFERÊNCIAS

- ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e design**: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto. Tradução Ariete Simille Marques. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. ISBN 978-85-352-3842-6.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142**: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. ISBN 978-85-07-02348-7.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. ISBN 978-85-07-05405-4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. ISBN 978-85-07-07531-8.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9479**: Argamassa e concreto — Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSUMPÇÃO, L; DANTAS, D. Obsolescência programada, consumismo e função social do design. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN. 12., Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte, 2016. p. 2011-2019.
- BRAINER, M. Coco: produção e mercado. In: **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 206, 2021.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Brasília, DF, ago. 2012.
- CALLISTER, Jr, W. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS**: uma introdução. 5. ed. Tradução: Sérgio Murilo Stamile Soares, Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2000. Título original: Materials Science and Engineering: Na Introduction. ISBN 978-8521612889.
- CARDOSO, R. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Cosac Naify, 2012. 264 p. ISBN 978-8592886011.

CARRIJO, O.; LIZ, R; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.4, p.533-535, 2002.

CARVALHO, M; SANTOS, D; SALES, R. Reflexões sobre design para o comportamento sustentável: uso da fibra de bananeira (musa sp) como resíduo agrícola renovável. **Plural Design**, v. 5, n. 1, p. 55-64, 2022.

CARVALHO, P; VIEIRA, I; AURIANE, D; CARDOSO, T; CARASEK, H; CASCUDO; O. Caracterização do papel kraft de embalagens visando o emprego como fibras em compósitos cimentícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 15., [online]. Maceió. **Anais [...]**. Maceió, 2014. p. 2632-2642.

CHIAVERINI, V. **TECNOLOGIA MECÂNICA: Volume 3: Materiais de construção mecânica**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. ISBN 978-0074500910.

COSTA, A; LIMA, G; DIAS, J. Estratégias de reutilização de resíduos: o caso do projeto coco verde. In: SIMPÓSIO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., Bauru. **Anais [...]**. Bauru: [s. l.], v. 6, 2006. p. 11.

CRISTINA, P; SALOMÃO, P; CANGUSSÚ, L; CARVALHO, P. Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 9, p. 1-18, 2018. ISSN: 2525-3409

CRUTZEN, P; STOERMER, E. The ‘anthropocene’(2000). In: **Paul J. Crutzen and the anthropocene: A new epoch in earth’s history**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 19-21.

DALFOVO, M; LANA, R; SILVEIRA, A. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.2, n.4, p.01-13, Sem II. 2008 ISSN 1980-7031.

DUARTE, L; JUCHEM, P; PULZ, G; BRUM, T; CHODUR, N; LICCARDO, A; FISCHER, A; ACAUAN, R. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre, RS. Vol. 30, n. 2 (2003), p. 3-15., 2003. ISSN 1518-2398

EVANGELISTA, M; CARDOSO, J; FERREIRA, R; SOUZA, T. Propriedades mecânicas de compósitos de fibras naturais e gesso. **Engineering Sciences**, v.9, n.2, p.146-162, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0013>

FONTES, H; FERREIRA, J. **A cultura do coqueiro**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 101. ISBN: 85-7383-353-X.

GIL, A. **Como elaborar projetos de pesquisa**. ed. 4. São Paulo: Atlas, 2002. p. 175. ISBN 85-224-3169-8.

GOTTARDI, F; BELINI, U; ZANONI, P; MAGALHÃES, W. Fibras residuais de pupunha: estudo de aplicações ao design sustentável. In: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 8., 2021. [online]. Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba, 2021. v. 1. p. 61-71. ISBN: 978-65-84565-02-9.

HOLANDA, J. S.; FERREIRA NETO, M; SILVA, R; CHAGAS, M; SOBRAL, L; GHEYI, H. Tecnologia para a produção intensiva de coco Anão verde. **Boletim de Pesquisa** 34. EMPARN, 2007. p. 37.

KAZAZIAN, T. **Haverá a idade das coisas leves**. São Paulo: Editora Senac, 2005. 194p. ISBN 978-85-7359-803-2.

LAVOYER, Fábila Carolina Gonçalves et al. Study of adsorption isotherms of green coconut pulp. **Food Science and Technology**, v. 33, p. 68-74, 2013.

LIMA, J; NORONHA, R; SANTOS, D. Materiais que geram novos materiais: uma percepção simbólica sobre os compósitos", p. 36-48. In: Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 13., 2018. São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2019. ISSN 2318-6968

LIMA, J; SANTOS, D. Compósito de solo-cimento e resíduos: perspectivas de materiais sustentáveis em São Luís-MA. **MIX Sustentável**, v. 6, n. 3, p. 117-128, 2020. ISSN 24473073.

LIPOVETSKY, G. **A felicidade paradoxal**: Ensaio sobre a sociedade de hiperconsumo / Giles Lipovetsky; tradução Maria Lucia Machado. São Paulo: Companhia das Letras, 2007. ISBN 978-85-359-1093-3

LÖBACH, B. **Design industrial**: base para a configuração dos produtos industriais. Tradução Freddy Van Camp, ed. 1. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001. p. 206. Título original: INDUSTRIAL DESIGN: Grundlagen der Industrieproduktgestaltung. ISBN 85-212-0288-1.

LOPES, K. **Avaliação de argamassa com incorporação de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2020.

MANZINI, E; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. Tradução Astrid de Carvalho. ed. 1. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo - EDUSP, 2011. p. 367. Título original: Lo sviluppo di prodotti sostenibili: I requisiti ambientali dei prodotti industriali. ISBN 978-85-314-0731-4.

MARCONI, M; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2003. p. 311. ISBN 85-224-3397-6.

MARTINS, C; JESUS Jr, L. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. p. 28. ISSN 1517-1329.

MATOS, S; GUIMARÃES, C. Utilização da cinza da casca do coco verde como substituição parcial do cimento Portland em argamassas. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, 2017. p. 251-269. ISSN 2179-0612.

MEDINA, J. C. **Coco: da cultura ao processamento e comercialização**. ITAL, 1980.

MENDES, Joao Ribeiro. O “Antropoceno” por Paul Crutzen & Eugene Stoermer. Anthropocenica. **Revista de Estudos do Antropoceno e Ecocrítica**, n. 1, p. 113-116, 2020.

MOREIRA, A. **Materiais compósitos I**. In: Área de construção, ed. Instituto politécnico de tomar escola superior de tecnologia de tomar: Departamento de engenharia Civil, 2008/2009.

OLIVEIRA, I. Planejamento estratégico para análise da cadeia produtiva do coco verde e aproveitamento de seus subprodutos. In: **Estudos em NUNES, Matheus Simões (Org.)**. Direito Ambiental: Territórios, racionalidade e decolonialidade. Campina Grande: Editora Licuri, 2022, p. 144-156.

OLIVEIRA, M; GARCIA FILHO, F; DEMOSTHENES, L; MONTERIO, S. CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE COCO (COCUS NUCIFERA L.) POR ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO, p. 3160-3166. In: *73º Congresso Anual da ABM*. **Anais** [...] São Paulo, 2018. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-320

PADILHA, A. Microscopia eletrônica de transmissão. **Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais da EPUSP**, p. 1-12, 2020

PAVIA, D; LAMPMAN, G; KRIZ, G; VYVYAN, J. **Introdução à Espectroscopia**. 4. ed. São Paulo: Editora CENGAGE Learning Brasil, 2010. ISBN 978-8522107087

PINHO, M; ZANDOMENEGHI, A. O consumo e descarte em excesso de produtos. In: SDS 2023 SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 9., 2023, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Grupo de Pesquisa Virtuhab/UFSC, 2023. v. 1. p. 301-312.

PINHO, M; ZANDOMENEGHI, A. Relação entre design e sustentabilidade na produção de futuros possíveis. In: ENSUS 2024 XII ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 12., 2024, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: UFMG, 2024. v. 1. p. 1311-1319.

PIQUÉ, T; VÁZQUEZ, A. Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. **Concreto y cemento. Investigación y desarrollo**, v. 3, n. 2, p. 62-71, 2012. [online]

REED, B. Shifting from ‘sustainability’ to regeneration. **Building Research & Information**, v. 35, n. 6, p. 674-680, 2007.

RODRIGUES, G; SILVA, M; GEISTEIRA, F; SANTOS, D; SANTOS, M; ZANDOMENEGHI, A. AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE REJEITOS DO COCO VERDE NA FORMULAÇÃO DE UM COMPÓSITO À BASE DE GESSO. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 15., 2024, Manaus. **Anais [...]**. Manaus, 2024. v. 1. p. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.29327/5457226.1-364>

ROSA M; ABREU, F; FURTADO, A; BRÍGIDO, A.; NORÕES, E. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 4p. (Comunicado técnico 61), 2001.

ROSA, M; MATTOS, A; CRISOSTOMO, L; FIGUEIREDO, M; BEZERRA, F; VERAS, L; CORREIA, D. **Aproveitamento da casca de coco verde**. In: CARVALHO, José Maria Marques de (Org.) Apoio do BNB à Pesquisa e Desenvolvimento da Fruticultura Regional. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2009. p. 165-190. ISBN 987857791057-1.

SABBATINI, F. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo, ABCP, 2.ed. 1998. 44p. (ET-91).

SANTOS, A; BRAGA Jr, A; SAMPAIO, C; PACHECO, D; ANDRADE, E; MERINO, E; TREIN, F; DUARTE, G; ROSA, I; MASSARO, J; LEPRE, P; NORONHA, R; ENGLER, R; VASQUES, R; MENDONÇA, R; NUNES, V. **Design para a sustentabilidade: dimensão econômica**. Curitiba, PR: Insight, 2018a. ISBN 978-85-62241-72-7.

SANTOS, A; LOPES, C; SAMPAIO, C; TREIN, F; CHAVES, L; LEBRELOTTO, L; FERROLI, P; LEPRE, P; ENGLER, R; MARTINS, S; NUNES, V. **Design para a sustentabilidade**: dimensão social. Curitiba, PR: Insight, 2019. ISBN 978-85-62241-59-8.

SANTOS, A; LOPES, C; SAMPAIO, C; TREIN, F; CHAVES, L; LIBRELOTTO, L; FERROLI, P; LEPRE, P; ENGLER, R; MARTINS, S; NUNES, V. **Design para a sustentabilidade**: dimensão ambiental. Curitiba, PR: Insight, 2018b. ISBN 978-85-62241-58-1.

SANTOS, D; SANTANA, S; BEZERRA, C; FILHO, J. Remoção de corantes têxteis por mesocarpo de coco verde. **Mens Agitat**, [s. l.], v. III, n. 2, p. 9–15, 2008. ISSN 1809-4791.

SANTOS, D; FONTES, C; LIMA, P. Uso de agregado miúdo reciclado em matrizes cimentícias para compósitos reforçados com fibras de sisal. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, n. 1, p. e11801, 2017. ISSN: 1517-7076

SANTOS, S.; ALBUQUERQUE, J.; FEITOSA, N.; BARROS, J. Levantamento de dados da geração de resíduos de coco verde na cidade de João Pessoa. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: UFPB. Campina Grande. 2016. p. 6. ISSN: 2525-6696.

SANTOS, W; ZANDOMENEGHI, A. Design sustentável: artefatos com coproduto da indústria da alumina. **Plural Design**, v. 7, n. 1, p. 70-79, 2024.

SENHORAS, E. Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. In: **Revista Urutágua**: revista acadêmica multidisciplinar, Maringá, n. 5, p. 1- 15, 2004. ISSN 1519.6178.

SILVA, A. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais**, v. 13, n. 5, p. 4077-4086, 2014. ISSN 2236 1308.

SILVA, E; MARQUES, M; JUNIOR, C; VELASCO, F. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil. In: **Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 669-683. 2015

SILVEIRA, M. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquetes em Salvador-BA**. 2008. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo), Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2008. ISSN 1808-0251.

SLEA. Volume de coco verde recolhido na litorânea de São Luís. Dados técnicos da empresa. São Luís Engenharia Ambiental, 2022.

SOARES, Z; SILVA, A; DIAS, I; ARAUJO, J. Nanotecnologia biobaseadas no pecíolo da (Mauritia Flexuosa) para aplicação em design sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 81057-81085, 2020. ISSN 2525-8761.

SOBRAL, Lafayette Franco et al. Coqueiro anão-verde. **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 89-101, 2009

SOUZA, E; BRITO, R; CAMPOS, N; RAMOS, D. Aplicação da fibra de coco no processo de isolamento termoacústico. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. especial, p. 233-245, 2015.

VELOSO, Y; SOUZA, I; SANTOS, J; LEITE, M. Reutilização da fibra da casca do coco verde para a produção de matéria-prima industrial. In: **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n. 17, p. 91-98, 2013.

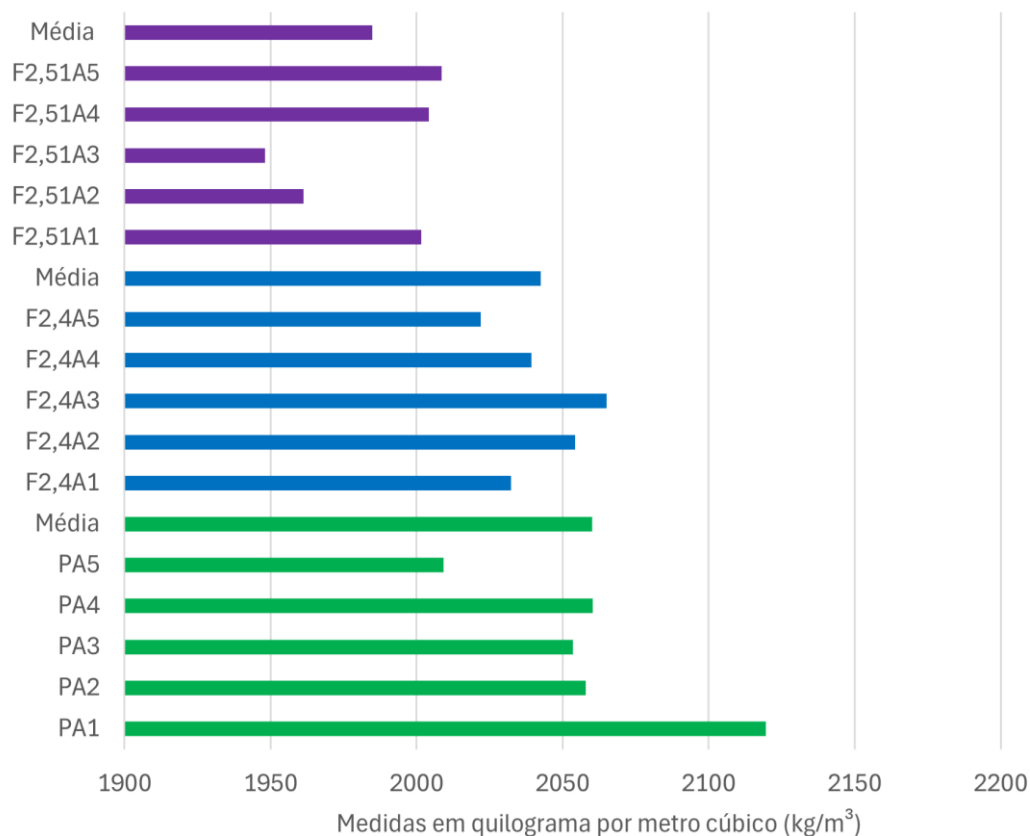
Apêndice A

Gráfico: Média e desvios padrão de volume, peso e densidade das amostras cilíndricas e prismáticas

Média e desvio padrão das amostras cilíndricas			
Volume	Média	Desvio Padrão	Porcentagem do Desvio Padrão relativo à sua Média
Grupo P	0,001464997	0,0000268646	1,83%
Grupo F2,4	0,001481347	0,0000212200	1,43%
Grupo F2,51	0,001491831	0,0000199042	1,33%
Peso	Média	Desvio Padrão	Porcentagem do Desvio Padrão relativo à sua Média
Grupo P	3,0281	0,0128798292	0,43%
Grupo F2,4	3,0126	0,0176929364	0,59%
Grupo F2,51	2,9403	0,0216981566	0,74%
Densidade	Média	Desvio Padrão	Porcentagem do Desvio Padrão relativo à sua Média
Grupo P	2067,588809	34,71215186	1,68%
Grupo F2,4	2033,984084	22,17868625	1,09%
Grupo F2,51	1971,21406	25,00215091	1,27%
Média e desvio padrão das amostras prismáticas			
Volume	Média	Desvio Padrão	Porcentagem do Desvio Padrão relativo à sua Média
Grupo P	0,010975889	0,000114946	1,05%
Grupo F2,4	0,011152201	0,000130199	1,17%
Grupo F2,51	0,01112708	0,00010251	0,92%
Peso	Média	Desvio Padrão	Porcentagem do Desvio Padrão relativo à sua Média
Grupo P	23,08	1,126765282	4,88%
Grupo F2,4	21,92	0,172046505	0,78%
Grupo F2,51	21,68	0,231516738	1,07%
Densidade	Média	Desvio Padrão	Porcentagem do Desvio Padrão relativo à sua Média
Grupo P	2103,223078	108,7859205	5,17%
Grupo F2,4	1965,668097	15,76413674	0,80%
Grupo F2,51	1948,425687	14,6251554	0,75%

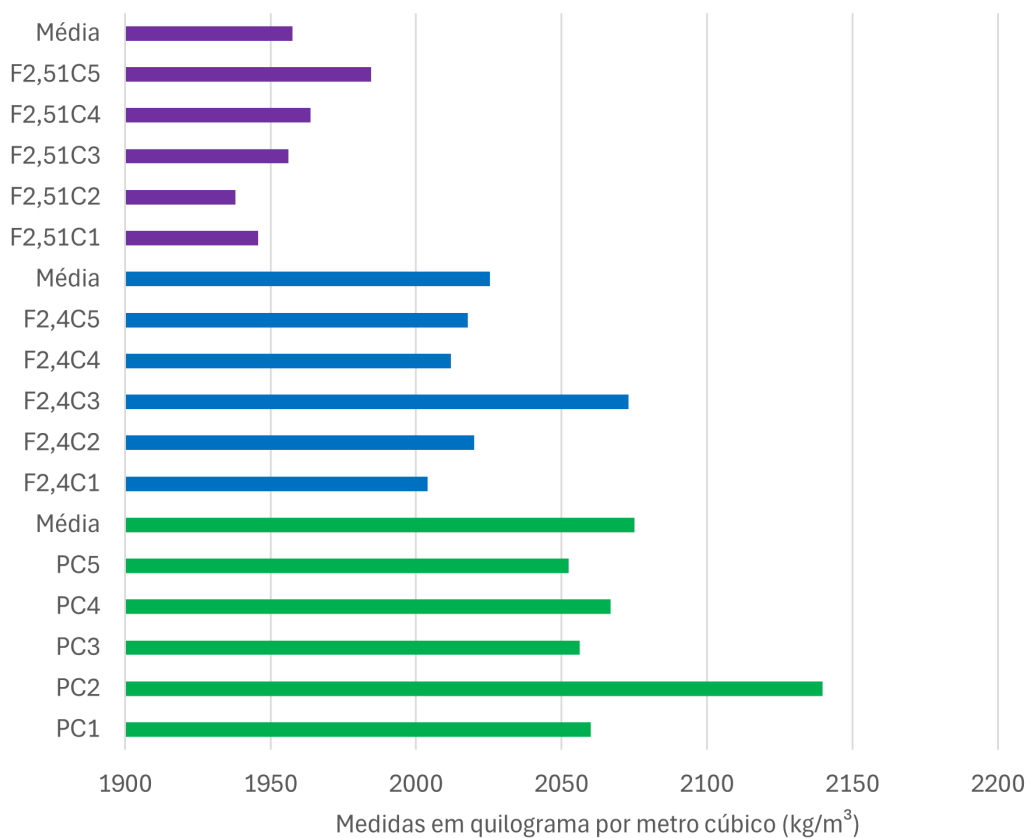
Fonte: Autor

Gráfico: Peso das amostras que fizeram o teste de absorção de água

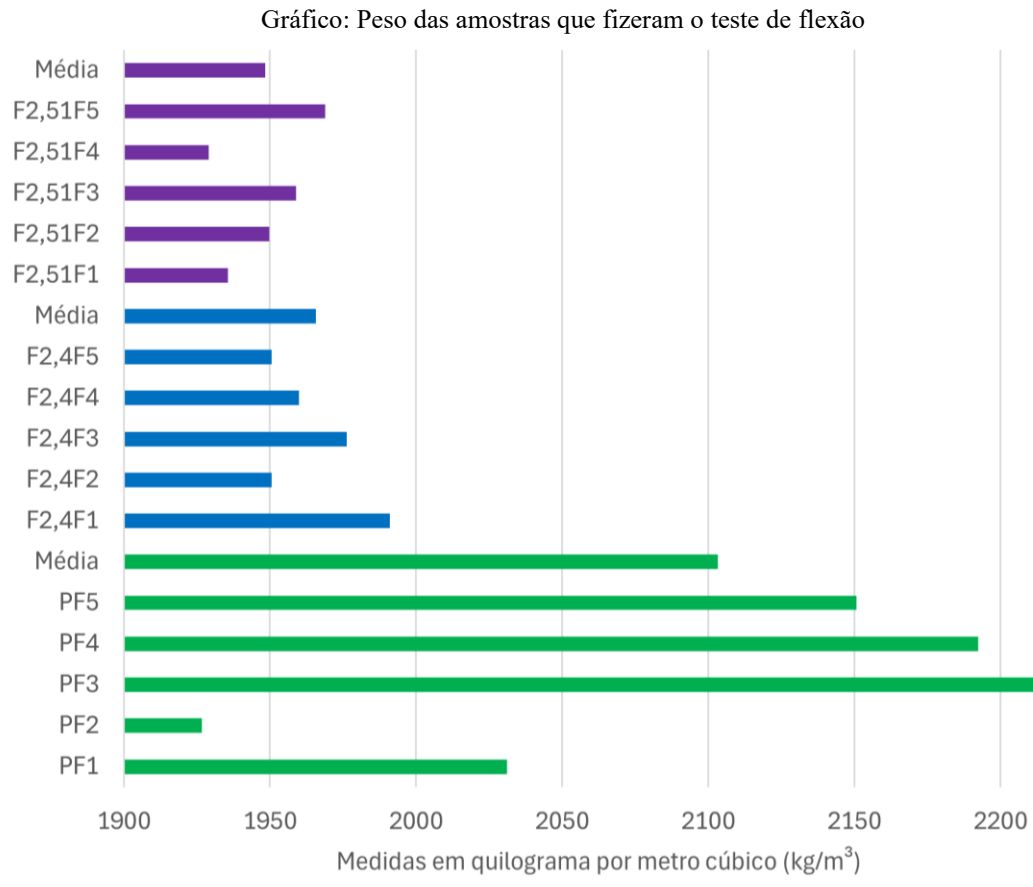


Fonte: Autor

Gráfico: Peso das amostras que fizeram o teste de compressão

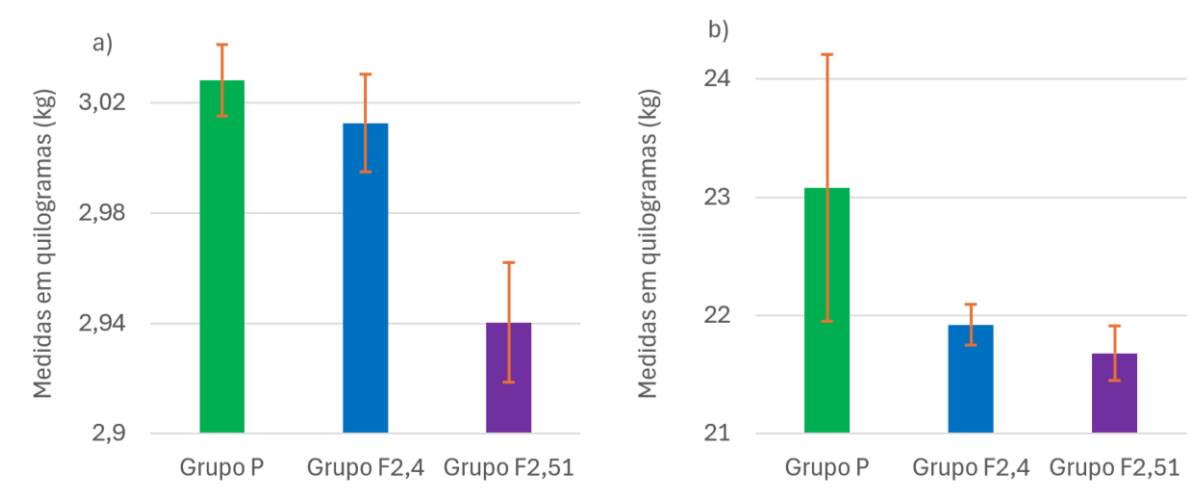


Fonte: Autor



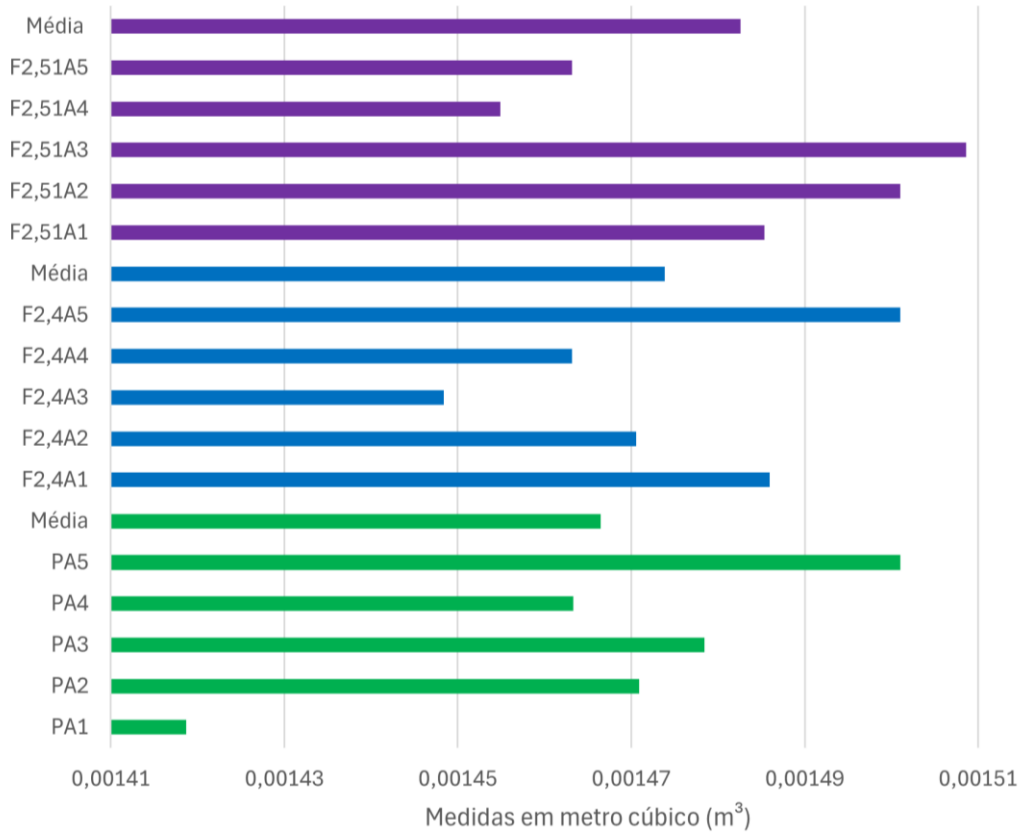
Fonte: Autor

Gráfico: Média e desvio padrão do peso das amostras. a) Amostras cilíndricas; b) Amostras prismáticas



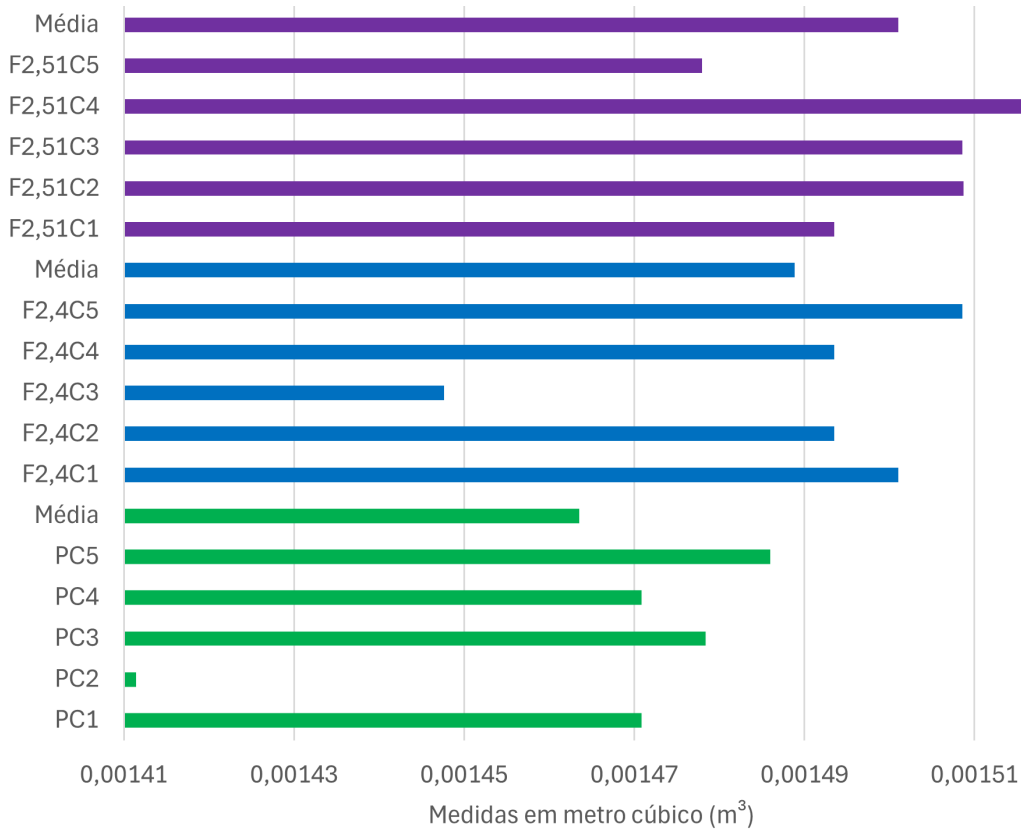
Fonte: Autor

Gráfico: Volume das amostras que fizeram o teste de absorção de água

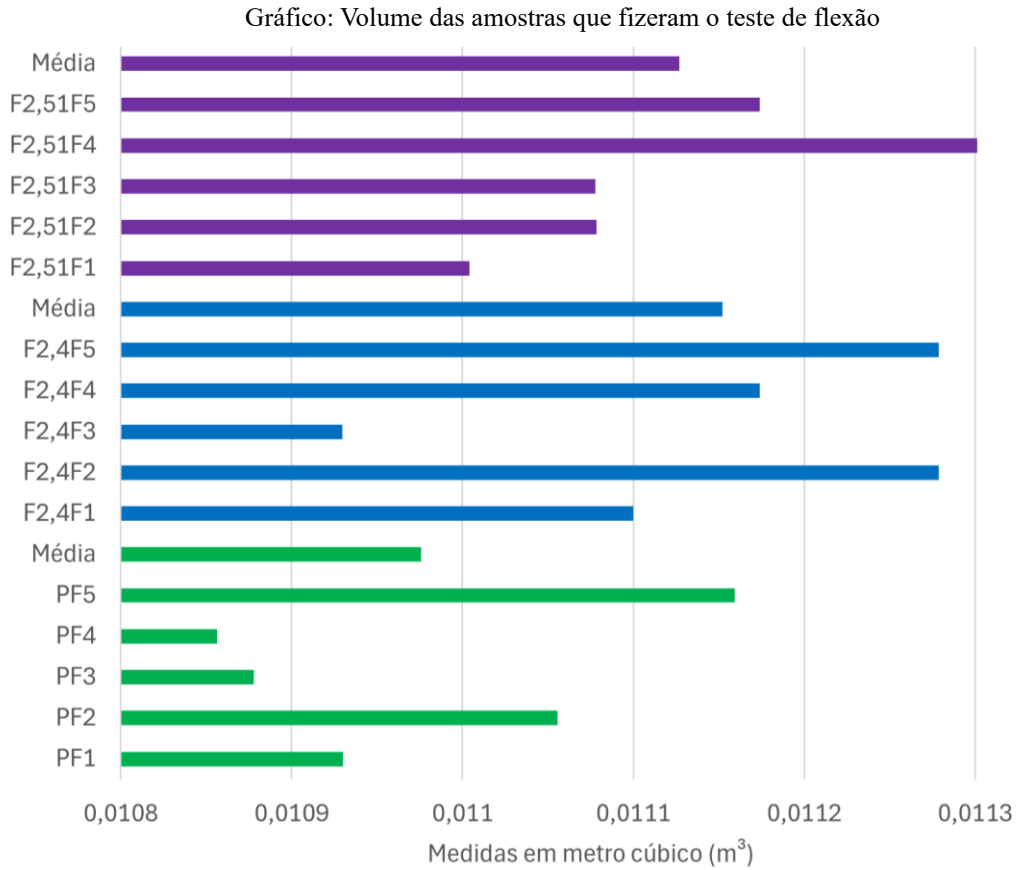


Fonte: Autor

Gráfico: Volume das amostras que fizeram o teste de compressão

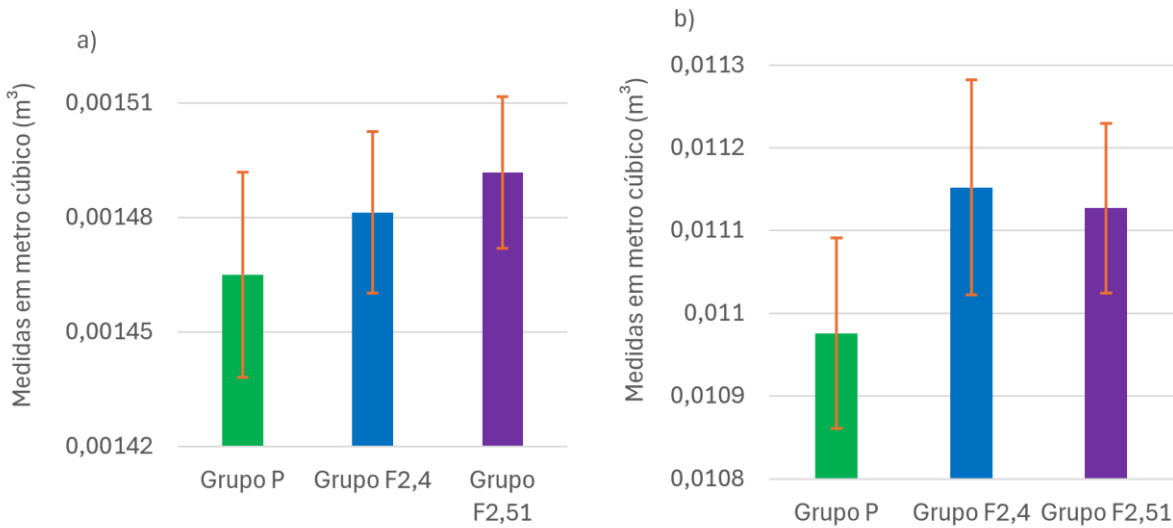


Fonte: Autor



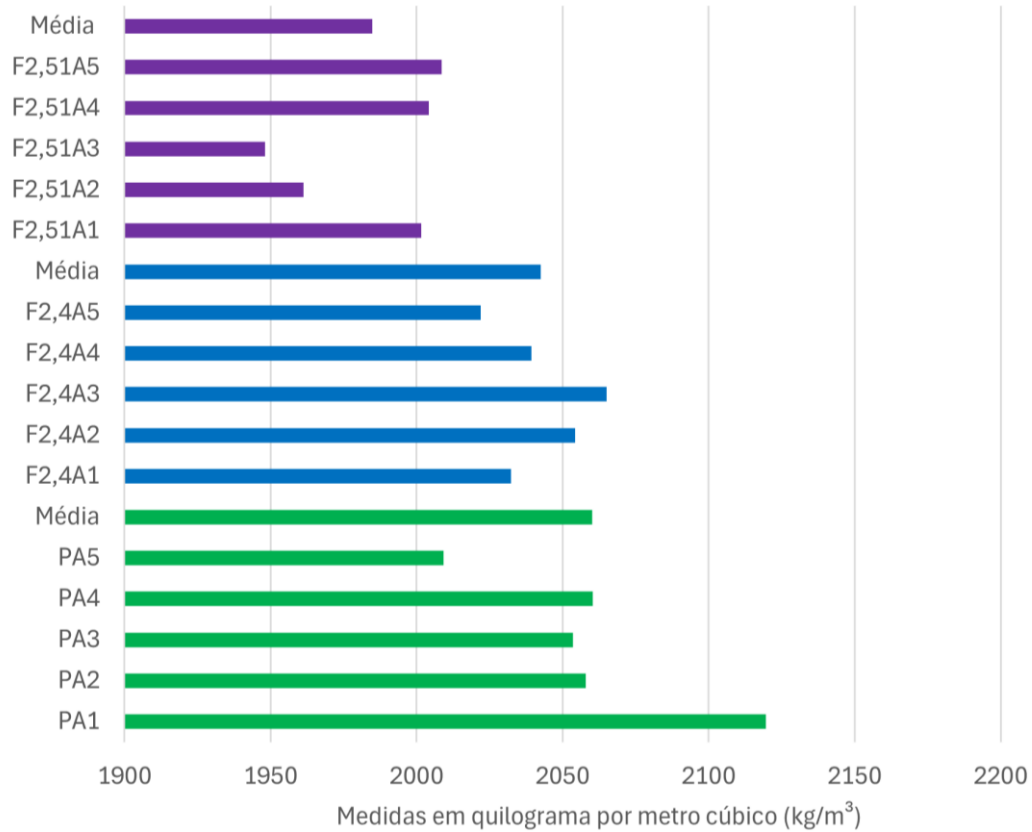
Fonte: Autor

Gráfico: Média e desvio padrão do volume das amostras. a) Amostras cilíndricas; b) Amostras prismáticas



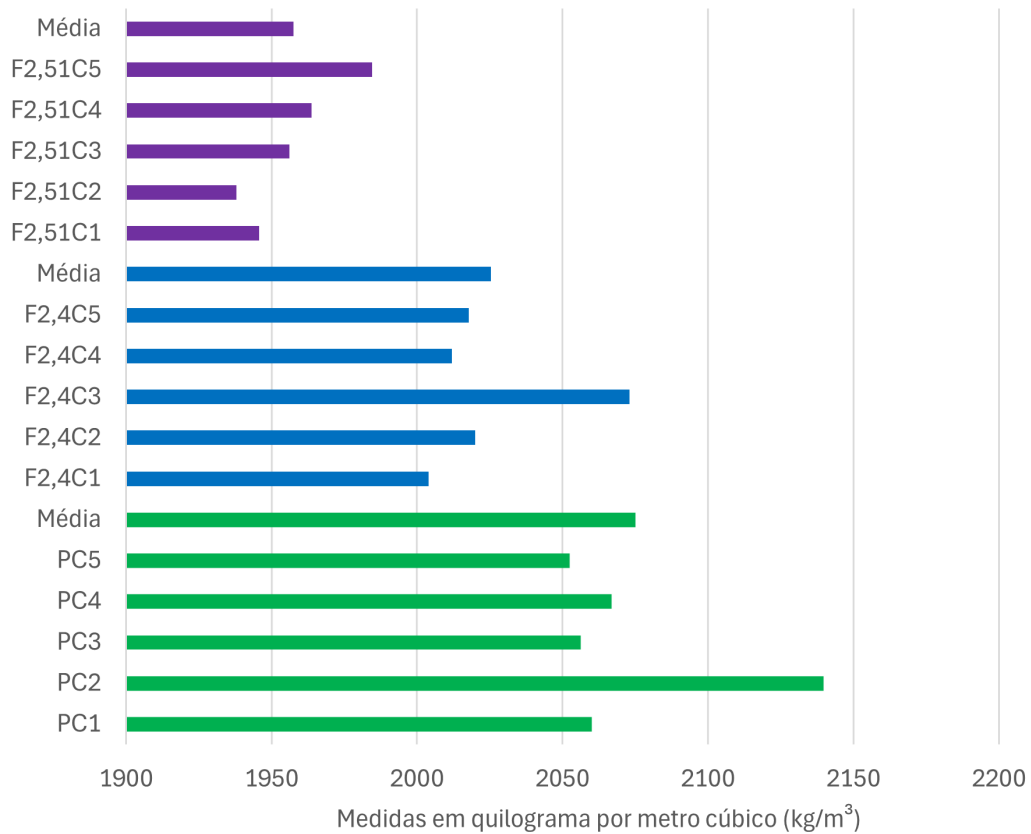
Fonte: Autor

Gráfico: Densidade das amostras que fizeram o teste de absorção de água



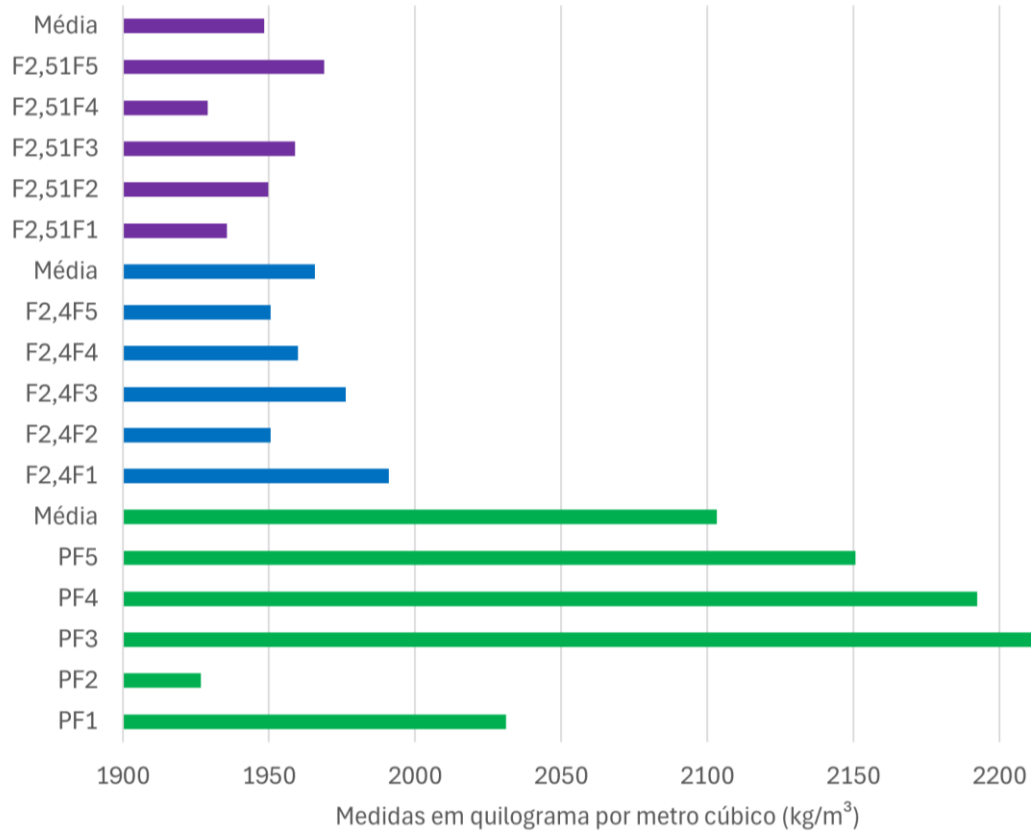
Fonte: Autor

Gráfico: Densidade das amostras que fizeram o teste de compressão



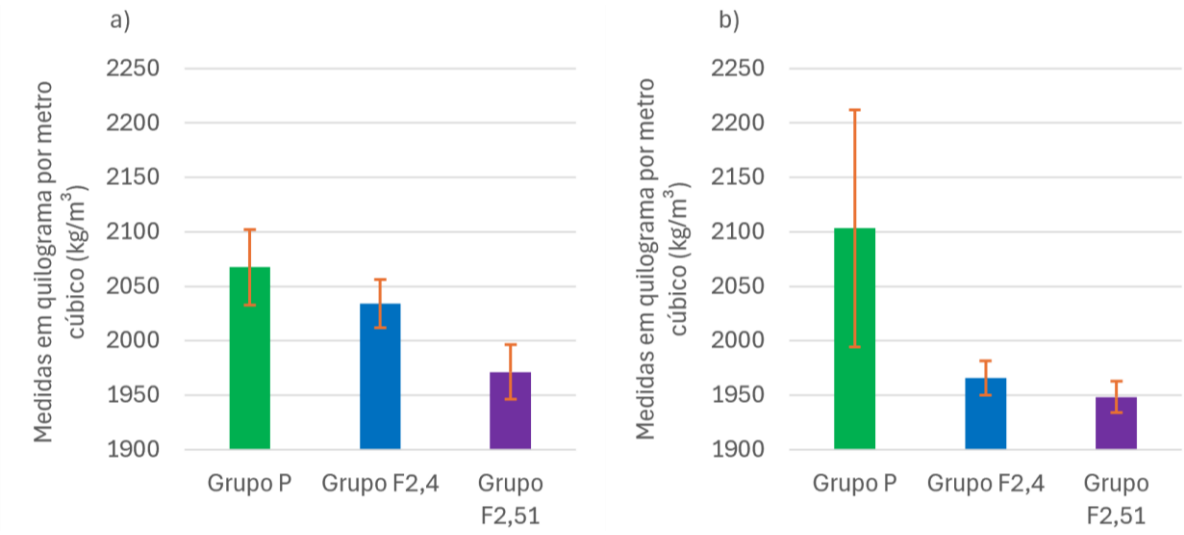
Fonte: Autor

Gráfico: Densidade das amostras que fizeram o teste de flexão



Fonte: Autor

Gráfico: Média e desvio padrão da densidade das amostras. a) Amostras cilíndricas; b) Amostras prismáticas



Fonte: Autor

Apêndice B

TABELA: Dados coletados durante o teste de absorção de água do grupo PA

Dados AA (27º dia)	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,096	0,098	0,098	0,098	0,099	0,0978	0,000979796
Raio (m)	0,048	0,049	0,049	0,049	0,0495	0,0489	0,000489898
Altura (m)	0,196	0,195	0,196	0,194	0,195	0,1952	0,000748331
Volume (m ³)	0,001418693	0,001470878	0,001478421	0,001463335	0,001501049	0,001466475	0,0000270201
Peso (kg)	3,007	3,027	3,036	3,015	3,016	3,0202	0,010146921
Densidade (kg/m ³)	2119,556556	2057,954539	2053,542347	2060,362106	2009,261466	2060,135403	35,12066872
Data do teste	07/05/2025	07/05/2025	07/05/2025	07/05/2025	07/05/2025	-	-
Dados AA (28º dia)	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,096	0,097	0,098	0,097	0,098	0,0972	0,000748331
Raio (m)	0,048	0,0485	0,049	0,0485	0,049	0,0486	0,000374166
Altura (m)	0,196	0,195	0,196	0,193	0,194	0,1948	0,00116619
Volume (m ³)	0,001418693	0,001441013	0,001478421	0,001426234	0,001463335	0,001445539	0,0000224134
Peso (kg)	2,863	2,889	2,889	2,884	2,883	2,8816	0,009624968
Densidade (kg/m ³)	2018,054679	2004,839363	1954,111937	2022,109163	1970,157198	1993,854468	27,00250088
Data do teste	08/05/2025	08/05/2025	08/05/2025	08/05/2025	08/05/2025	-	-
Dados AA (29º dia)	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,096	0,098	0,097	0,098	0,099	0,0976	0,001019804
Raio (m)	0,048	0,049	0,0485	0,049	0,0495	0,0488	0,000509902
Altura (m)	0,196	0,196	0,197	0,193	0,194	0,1952	0,001469694
Volume (m ³)	0,001418693	0,001478421	0,001455793	0,001455792	0,001493351	0,00146041	0,0000252684
Peso (kg)	3,072	3,089	3,098	3,081	3,083	3,0846	0,008639444
Densidade (kg/m ³)	2165,373375	2089,391407	2128,050047	2116,373703	2064,484014	2112,734509	34,32687119
Data do teste	09/05/2025	09/05/2025	09/05/2025	09/05/2025	09/05/2025	-	-
Absorção de água	7,300034928	6,922810661	7,234337141	6,830790569	6,937218176	7,045038295	0,18618496

Fonte: Autor

TABELA: Dados coletados durante o teste de absorção de água do grupo F2,4A.

Dados AA (27º dia)	F2,4A1	F2,4A2	F2,4A3	F2,4A4	F2,4A5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,098	0,097	0,097	0,097	0,098	0,0974	0,000489898
Raio (m)	0,049	0,0485	0,0485	0,0485	0,049	0,0487	0,000244949
Altura (m)	0,197	0,199	0,196	0,198	0,199	0,1978	0,00116619
Volume (m ³)	0,001485964	0,001470572	0,001448403	0,001463183	0,00150105	0,001473834	0,0000182135
Peso (kg)	3,02	3,021	2,991	2,984	3,035	3,0102	0,019405154
Densidade (kg/m ³)	2032,350853	2054,302047	2065,032979	2039,389968	2021,918222	2042,598814	15,38350875
Data do teste	19/05/2025	19/05/2025	19/05/2025	19/05/2025	19/05/2025	-	-
Dados AA (28º dia)	F2,4A1	F2,4A2	F2,4A3	F2,4A4	F2,4A5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,099	0,098	0,099	0,097	0,098	0,0982	0,000748331
Raio (m)	0,0495	0,049	0,0495	0,0485	0,049	0,0491	0,000374166
Altura (m)	0,197	0,199	0,196	0,198	0,199	0,1978	0,00116619
Volume (m ³)	0,001516444	0,00150105	0,001508747	0,001463183	0,00150105	0,001498095	0,0000183657
Peso (kg)	2,878	2,874	2,838	2,85	2,901	2,8682	0,022130522
Densidade (kg/m ³)	1897,860526	1914,659957	1881,031417	1947,808783	1932,647368	1914,80161	23,81340334
Data do teste	20/05/2025	20/05/2025	20/05/2025	20/05/2025	20/05/2025	-	-
Dados AA (29º dia)	F2,4A1	F2,4A2	F2,4A3	F2,4A4	F2,4A5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,098	0,097	0,099	0,097	0,098	0,0978	0,000748331
Raio (m)	0,049	0,0485	0,0495	0,0485	0,049	0,0489	0,000374166
Altura (m)	0,198	0,199	0,197	0,198	0,2	0,1984	0,001019804
Volume (m ³)	0,001493507	0,001470572	0,001516444	0,001463183	0,001508593	0,00149046	0,0000207501
Peso (kg)	3,074	3,08	3,049	3,039	3,088	3,066	0,01877232
Densidade (kg/m ³)	2058,242967	2094,422478	2010,624303	2076,97926	2046,940709	2057,441943	28,46779134
Data do teste	21/05/2025	21/05/2025	21/05/2025	21/05/2025	21/05/2025	-	-
Absorção de água	6,81028492	7,167710508	7,434813249	6,631578947	6,446053085	6,898088142	0,358843228

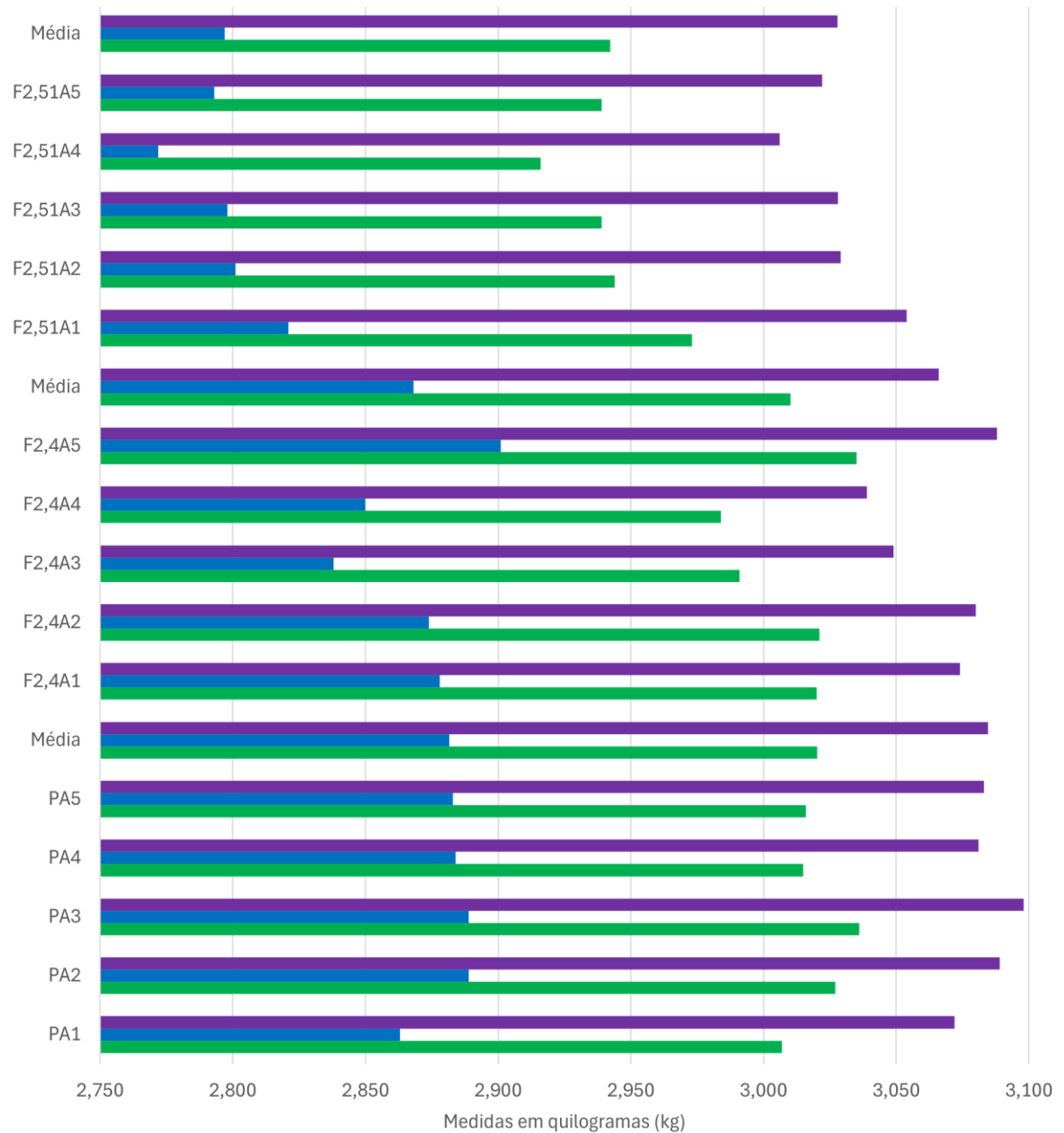
Fonte: Autor

TABELA: Dados coletados durante o teste de absorção de água do grupo F2,51A.

Dados AA (27º dia)	F2,51A1	F2,51A2	F2,51A3	F2,51A4	F2,51A5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,097	0,098	0,098	0,096	0,097	0,0972	0,000748331
Raio (m)	0,0485	0,049	0,049	0,048	0,0485	0,0486	0,000374166
Altura (m)	0,201	0,199	0,2	0,201	0,198	0,1998	0,00116619
Volume (m³)	0,001485352	0,00150105	0,001508593	0,001454884	0,001463183	0,001482612	2,08269E-05
Peso (kg)	2,973	2,944	2,939	2,916	2,939	2,9422	0,01821428
Densidade (kg/m³)	2001,54566	1961,293985	1948,173168	2004,283332	2008,635093	1984,786248	24,9887397
Data do teste	26/05/2025	26/05/2025	26/05/2025	26/05/2025	26/05/2025	-	-
Dados AA (28º dia)	F2,51A1	F2,51A2	F2,51A3	F2,51A4	F2,51A5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,097	0,098	0,098	0,096	0,097	0,0972	0,000748331
Raio (m)	0,0485	0,049	0,049	0,048	0,0485	0,0486	0,000374166
Altura (m)	0,201	0,2	0,2	0,201	0,198	0,2	0,001095445
Volume (m³)	0,001485352	0,001508593	0,001508593	0,001454884	0,001463183	0,001484121	2,23269E-05
Peso (kg)	2,821	2,801	2,798	2,772	2,793	2,797	0,01570987
Densidade (kg/m³)	1899,21302	1856,697191	1854,708583	1905,306377	1908,852608	1884,955556	24,09113872
Data do teste	27/05/2025	27/05/2025	27/05/2025	27/05/2025	27/05/2025	-	-
Dados AA (29º dia)	F2,51A1	F2,51A2	F2,51A3	F2,51A4	F2,51A5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,097	0,098	0,098	0,096	0,097	0,0972	0,000748331
Raio (m)	0,0485	0,049	0,049	0,048	0,0485	0,0486	0,000374166
Altura (m)	0,201	0,199	0,2	0,201	0,198	0,1998	0,00116619
Volume (m³)	0,001485352	0,00150105	0,001508593	0,001454884	0,001463183	0,001482612	2,08269E-05
Peso (kg)	3,054	3,029	3,028	3,006	3,022	3,0278	0,015471264
Densidade (kg/m³)	2056,078186	2017,92102	2007,168545	2066,143929	2065,360752	2042,534486	24,97378022
Data do teste	28/05/2025	28/05/2025	28/05/2025	28/05/2025	28/05/2025	-	-
Absorção de água	8,259482453	8,139950018	8,220157255	8,441558442	8,199069101	8,252043454	0,102332028

Fonte: Autor

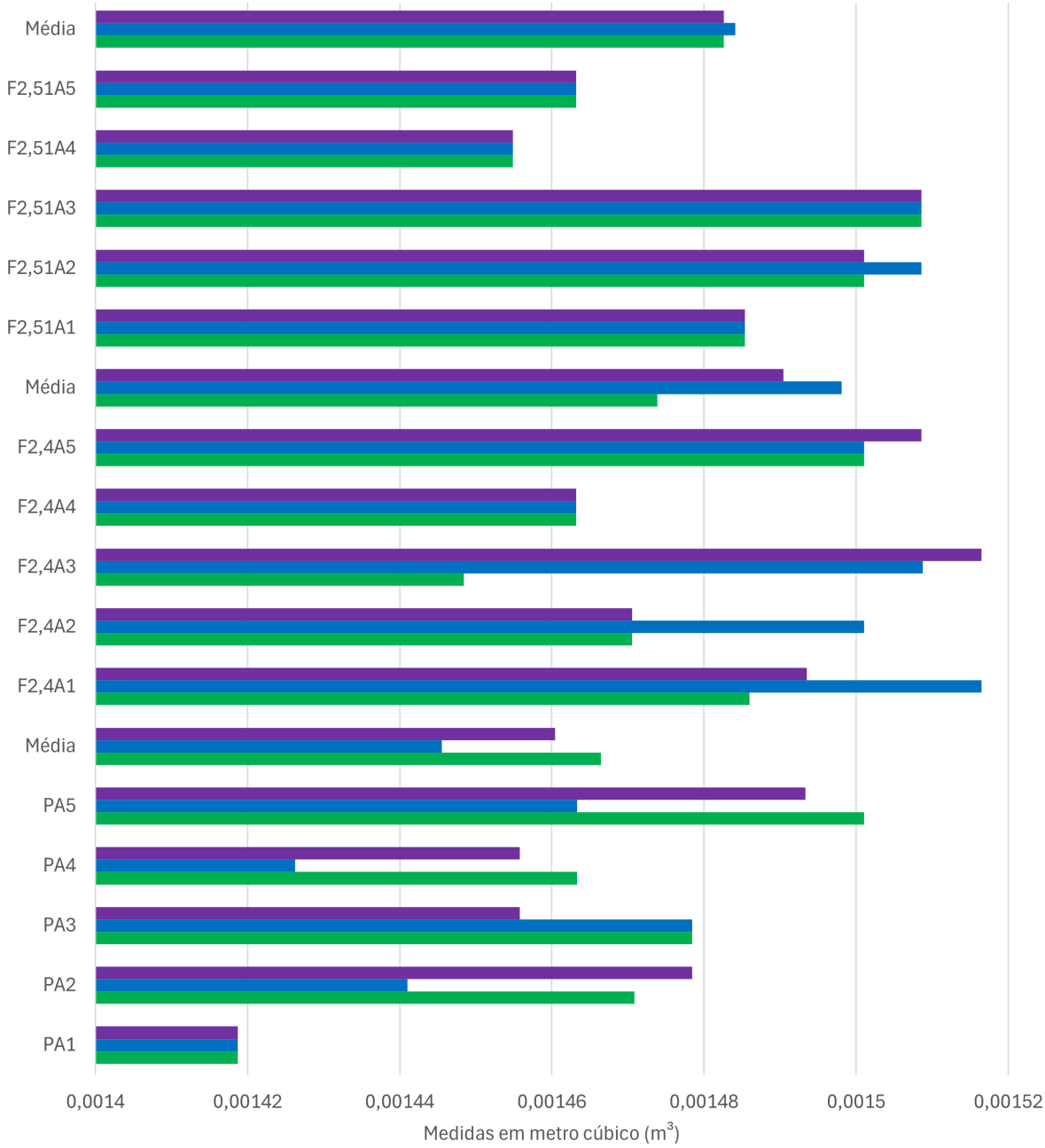
Gráfico: Peso das amostras que realizaram o teste de absorção de água



Legenda: Verde – 27º dia; Azul – 28º dia; Roxo – 29º dia.

Fonte: Autor

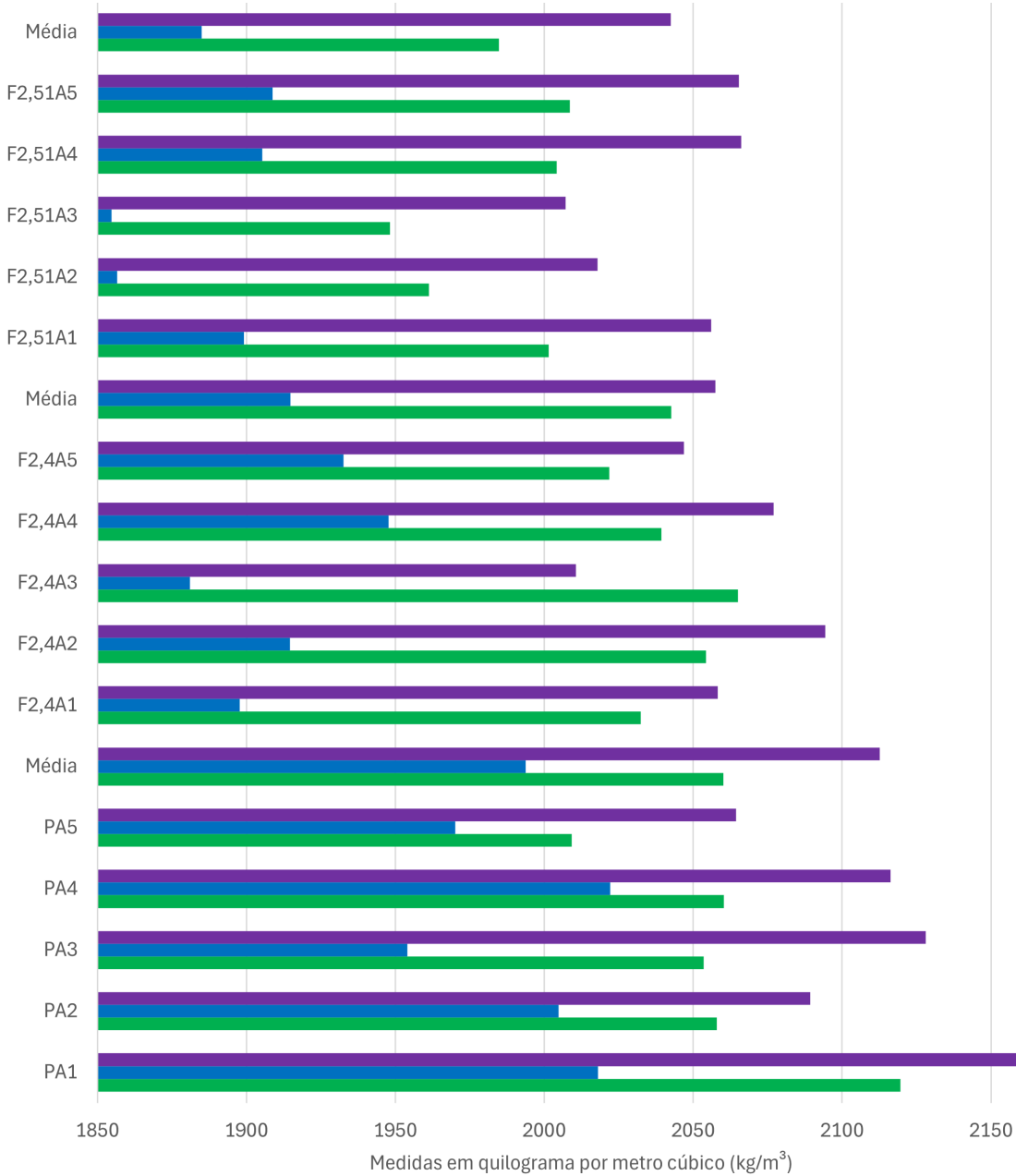
Gráfico: Volume das amostras que realizaram o teste de absorção de água



Legenda: Verde – 27º dia; Azul – 28º dia; Roxo – 29º dia.

Fonte: Autor

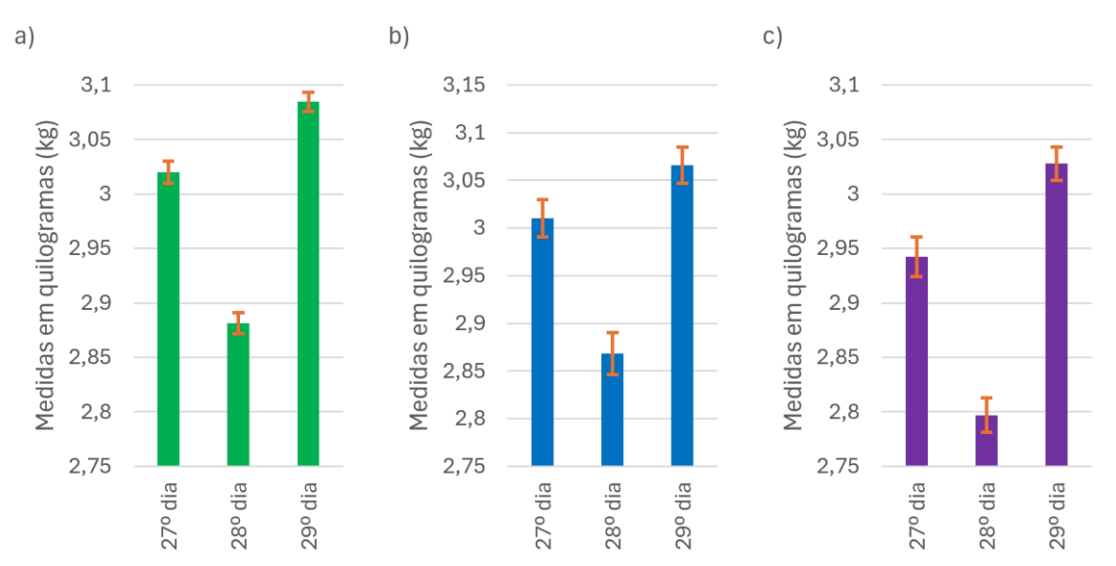
Gráfico: Densidade das amostras que realizaram o teste de absorção de água



Legenda: Verde – 27º dia; Azul – 28º dia; Roxo – 29º dia.

Fonte: Autor

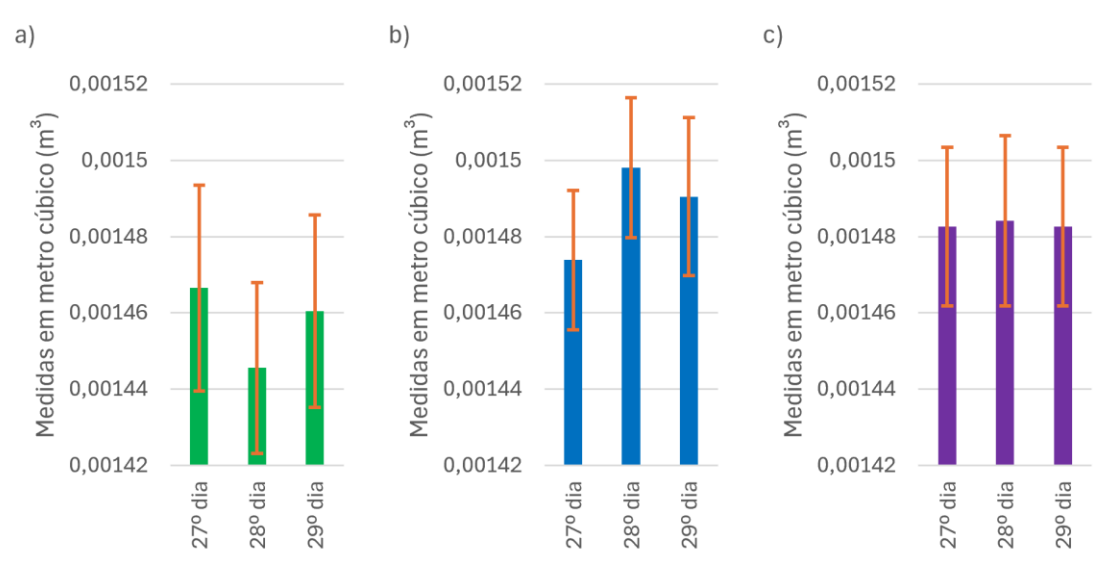
Gráfico: Média e desvio padrão do peso das amostras que realizaram o teste de absorção de água



Legenda: Verde – Grupo P; Azul – Grupo F2,4; Roxo – Grupo F2,51.

Fonte: Autor

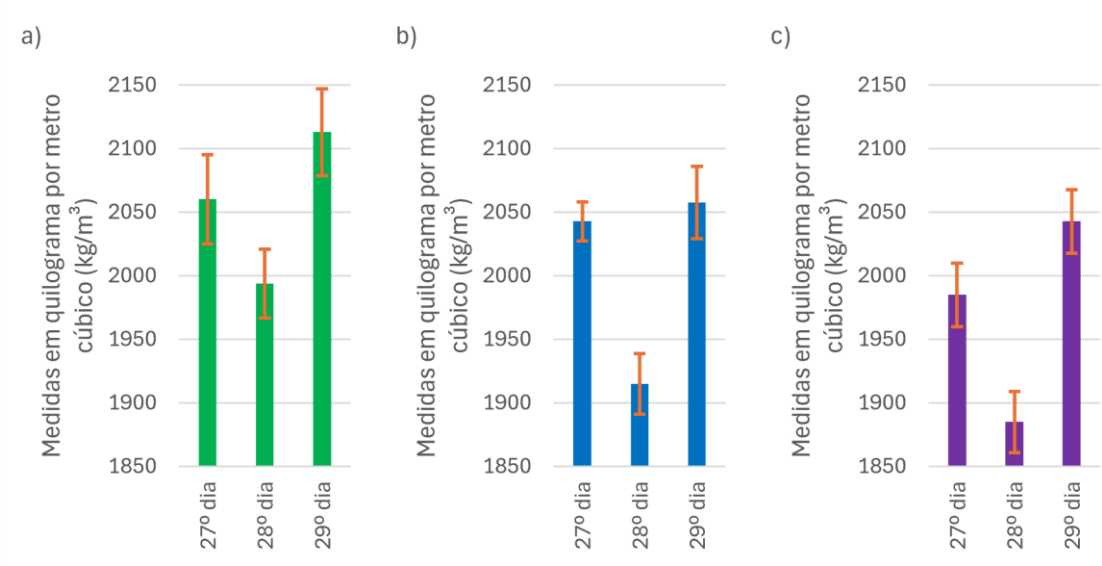
Gráfico: Média e desvio padrão do volume das amostras que realizaram o teste de absorção de água



Legenda: Verde – Grupo P; Azul – Grupo F2,4; Roxo – Grupo F2,51.

Fonte: Autor

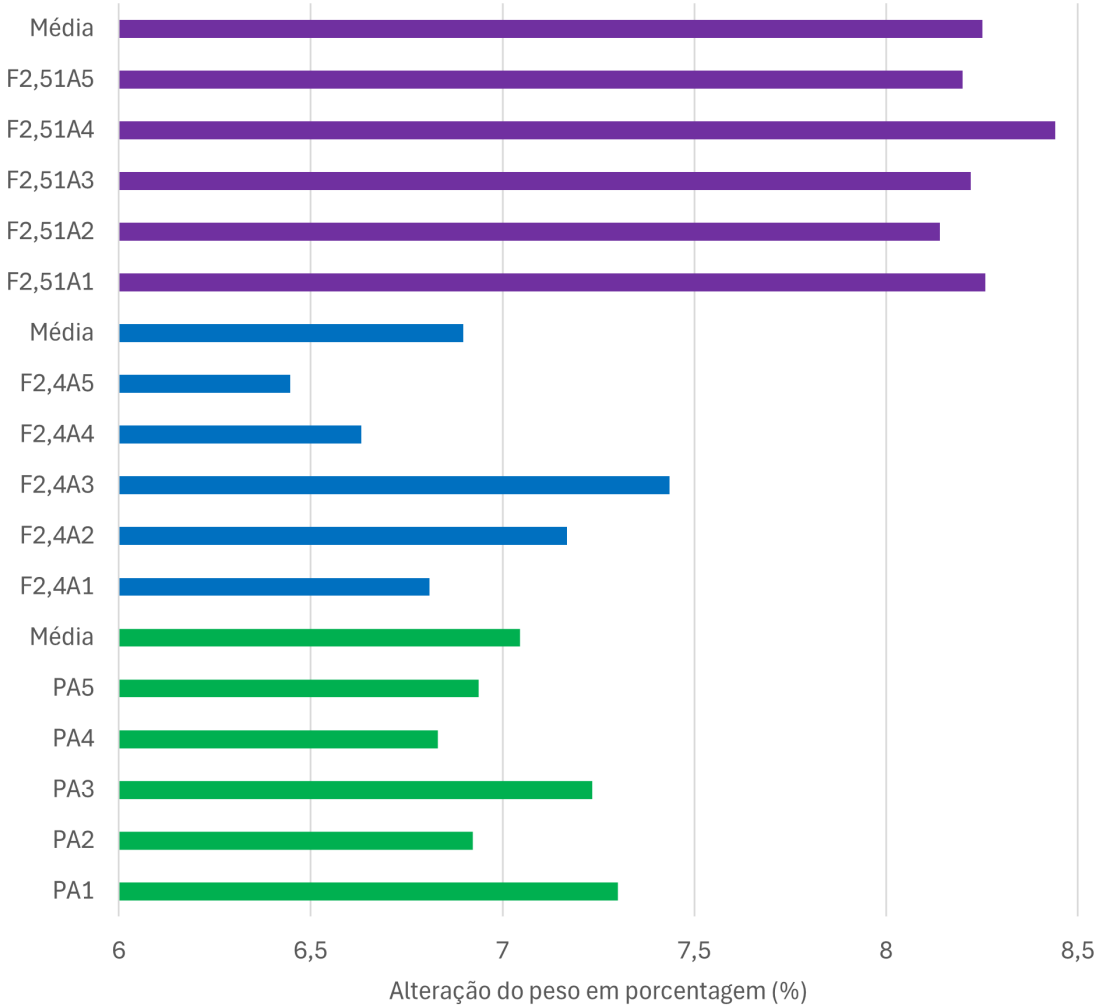
Gráfico: Média e desvio padrão da densidade das amostras que realizaram o teste de absorção de água



Legenda: Verde – Grupo P; Azul – Grupo F2,4; Roxo – Grupo F2,51.

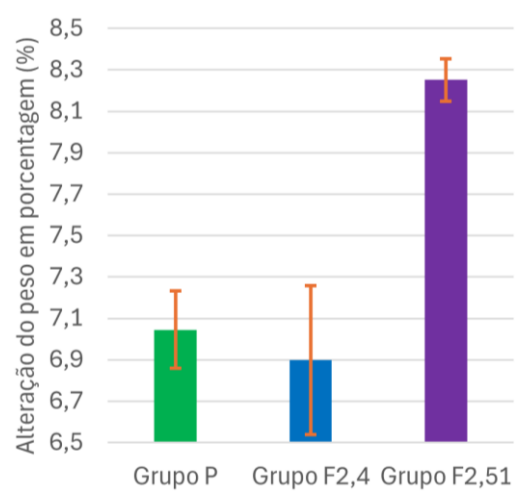
Fonte: Autor

Gráfico: Resultados gerais do teste de absorção de água



Fonte: Autor

Gráfico: Média e desvio padrão da absorção de água



Fonte: Autor

Apêndice C

TABELA: Dados coletados durante o teste de compressão, grupo P.

Dados Compressão	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,098	0,096	0,098	0,098	0,098	0,0976	0,0008
Raio (m)	0,049	0,048	0,049	0,049	0,049	0,0488	0,0004
Altura (m)	0,195	0,195	0,196	0,195	0,197	0,1956	0,0008
Área secção transversal (m ²)	0,007542964	0,007238229	0,007542964	0,007542964	0,007542964	0,007482017	0,000121894
Volume (m ³)	0,001470878	0,001411455	0,001478421	0,001470878	0,001485964	0,001463519	2,66264E-05
Peso (kg)	3,03	3,02	3,04	3,04	3,05	3,036	0,010198039
Densidade (kg/m ³)	2059,994137	2139,636432	2056,247937	2066,792798	2052,539768	2075,042215	32,63891978
Força aplicada (kN)	192,03	157,743	245,353	229,264	284,579	221,7938	43,68342913
Resistência (MPa)	25,458	21,793	32,52	30,394	37,728	29,5786	5,537586897
Tensão de Ruptura (kN/m ²)	25458,1622	21793,03662	32527,39921	30394,41805	37727,74223	29580,15166	5538,275684
Resistência - NBR 5739 (kN/m ²)	2,348179823	1,850984069	3,000223736	2,803484345	3,479886818	2,696551758	0,557424934
Relação altura/diâmetro	1,989795918	2,03125	2	1,989795918	2,010204082		
Fator de correção	0,999183673	1	1	0,999183673	1		
Resistência pós FC (kN/m ²)	2,346262941	1,850984069	3,000223736	2,801195787	3,479886818	2,69571067	0,557577671
Data do teste	08/05/2025	08/05/2025	08/05/2025	08/05/2025	08/05/2025		

Fonte: Autor

TABELA: Dados coletados durante o teste de compressão, grupo F2,4.

Dados Compressão	F2,4C1	F2,4C2	F2,4C3	F2,4C4	F2,4C5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,098	0,098	0,096	0,098	0,098	0,0976	0,0008
Raio (m)	0,049	0,049	0,048	0,049	0,049	0,0488	0,0004
Altura (m)	0,199	0,198	0,2	0,198	0,2	0,199	0,000894427
Área secção transversal (m ²)	0,007542964	0,007542964	0,007238229	0,007542964	0,007542964	0,007482017	0,000121894
Volume (m ³)	0,00150105	0,001493507	0,001447646	0,001493507	0,001508593	0,00148886	2,13531E-05
Peso (kg)	3,008	3,017	3,001	3,005	3,044	3,015	0,015427249
Densidade (kg/m ³)	2003,930811	2020,077759	2073,020765	2012,042979	2017,774456	2025,369354	24,46852595
Força aplicada (kN)	224,642	202,429	204,74	260,402	280,131	234,4688	30,86902558
Resistência (MPa)	28,602	25,774	26,068	33,155	35,667	29,8532	3,930273955
Tensão de Ruptura (kN/m ²)	29781,66158	26836,79798	28285,92279	34522,50353	37138,05361	31312,9879	3892,98705
Resistência - NBR 5739 (kN/m ²)	2,746965639	2,475340797	2,402455121	3,184245806	3,425495818	2,846900636	0,398534736
Relação altura/diâmetro	2,030612245	2,020408163	2,083333333	2,020408163	2,040816327		
Fator de correção	1	1	1	1	1		
Resistência pós FC (kN/m ²)	2,746965639	2,475340797	2,402455121	3,184245806	3,425495818	2,846900636	0,398534736
Data do teste	19/05/2025	19/05/2025	19/05/2025	19/05/2025	19/05/2025		

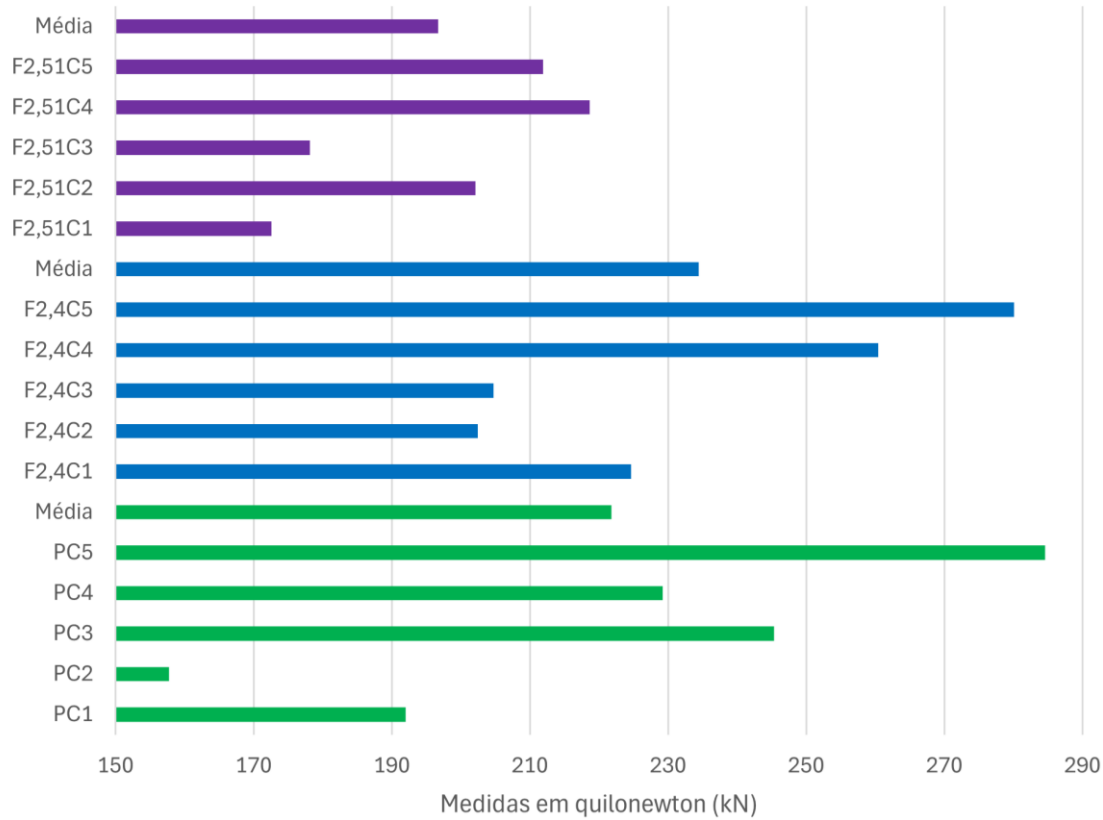
Fonte: Autor

TABELA: Dados coletados durante o teste de compressão, grupo F2,51.

Dados Compressão	F2,51C1	F2,51C2	F2,51C3	F2,51C4	F2,51C5	Média	Desvio Padrão
Diâmetro (m)	0,098	0,099	0,098	0,099	0,097	0,0982	0,000748331
Raio (m)	0,049	0,0495	0,049	0,0495	0,0485	0,0491	0,000374166
Altura (m)	0,198	0,196	0,2	0,197	0,2	0,1982	0,0016
Área secção transversal (m ²)	0,007542964	0,007697687	0,007542964	0,007697687	0,007389811	0,007574223	0,000115281
Volume (m ³)	0,001493507	0,001508747	0,001508593	0,001516444	0,001477962	0,001501051	1,37336E-05
Peso (kg)	2,906	2,924	2,951	2,978	2,933	2,9384	0,024548727
Densidade (kg/m ³)	1945,756039	1938,032369	1956,127601	1963,804255	1984,489098	1957,641872	16,04273772
Força aplicada (kN)	172,619	202,14	178,14	218,663	211,875	196,6874	18,25713538
Resistência (MPa)	21,979	25,737	22,766	27,841	26,977	25,06	2,30747377
Tensão de Ruptura (kN/m ²)	22884,77061	26259,83487	23616,71101	28406,3237	28671,23271	25967,77458	2382,138546
Resistência - NBR 5739 (kN/m ²)	2,110818376	2,52250926	2,178330228	2,72870012	2,538243617	2,41572032	0,233962152
Relação altura/diâmetro	2,020408163	1,97979798	2,040816327	1,98989899	2,06185567		
Fator de correção	1	0	1	0	1		
Resistência pós FC (kN/m ²)	2,110818376	0	2,178330228	0	2,538243617	1,365478444	1,124339855
Data do teste	26/05/2025	26/05/2025	26/05/2025	26/05/2025	26/05/2025		

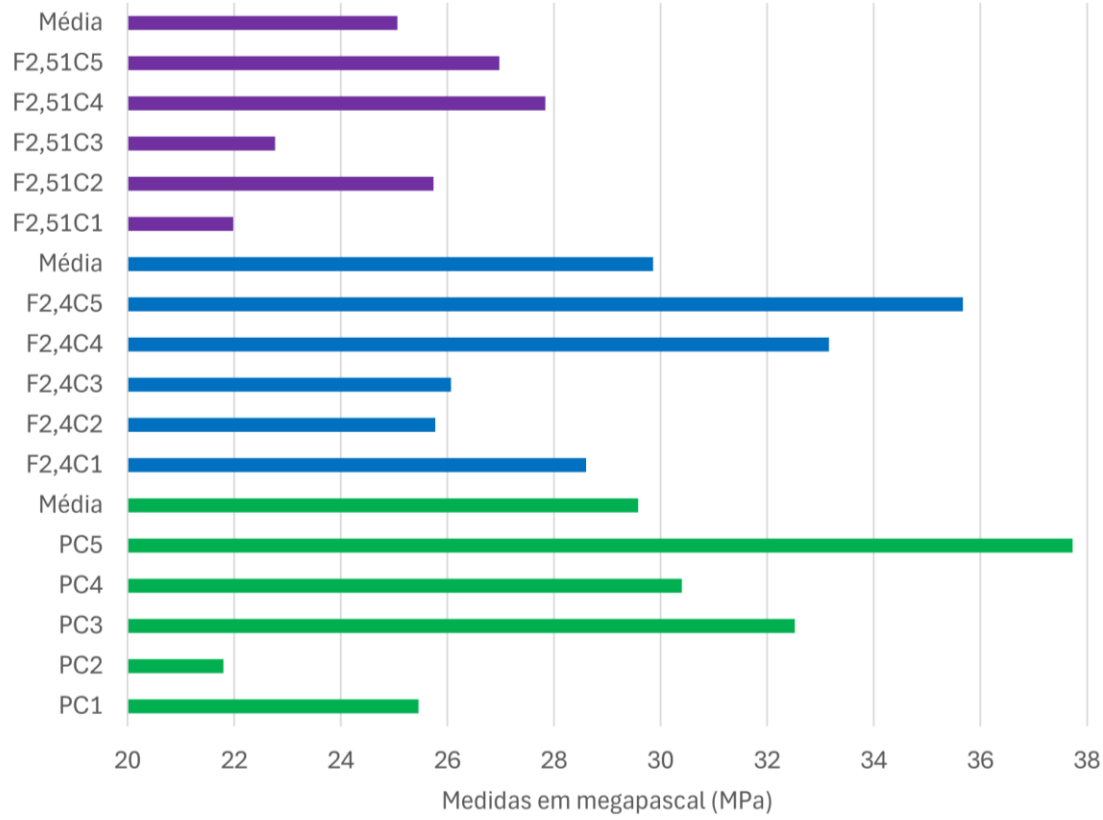
Fonte: Autor

Gráfico: Força aplicado registrada no momento da ruptura das amostras de compressão.



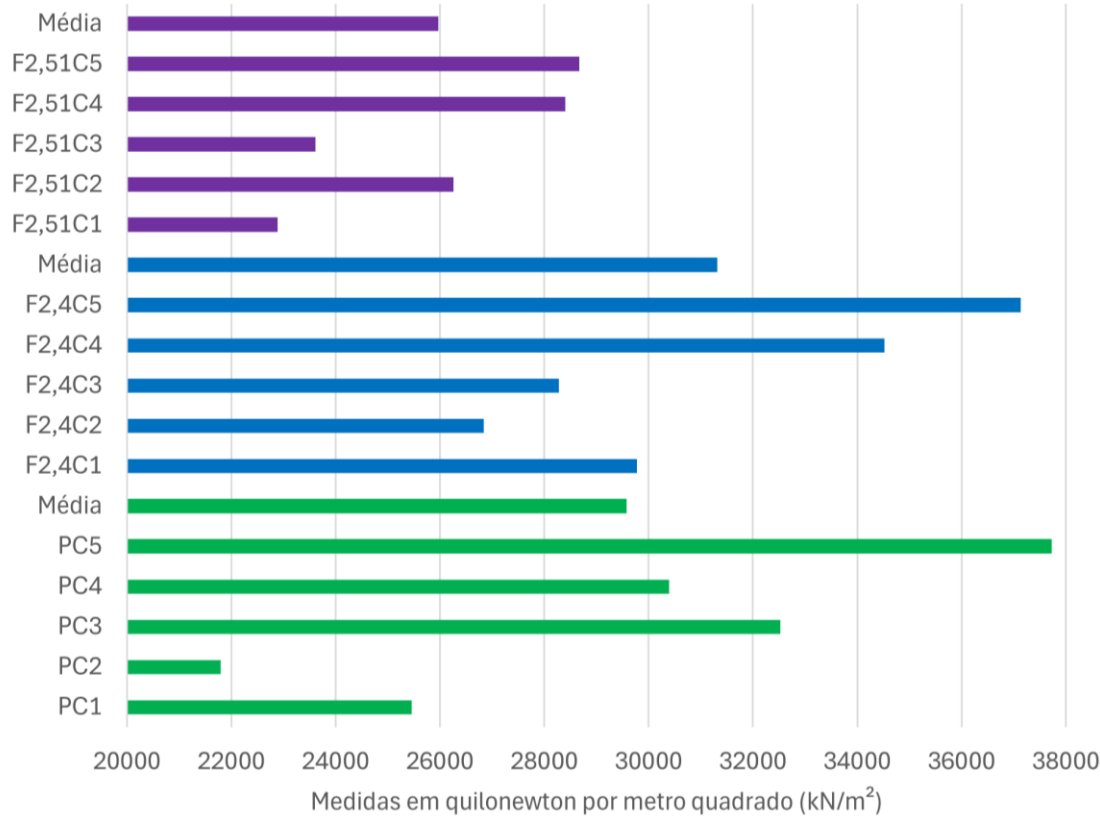
Fonte: Autor

Gráfico: Resistência registrada no momento da ruptura das amostras de compressão.



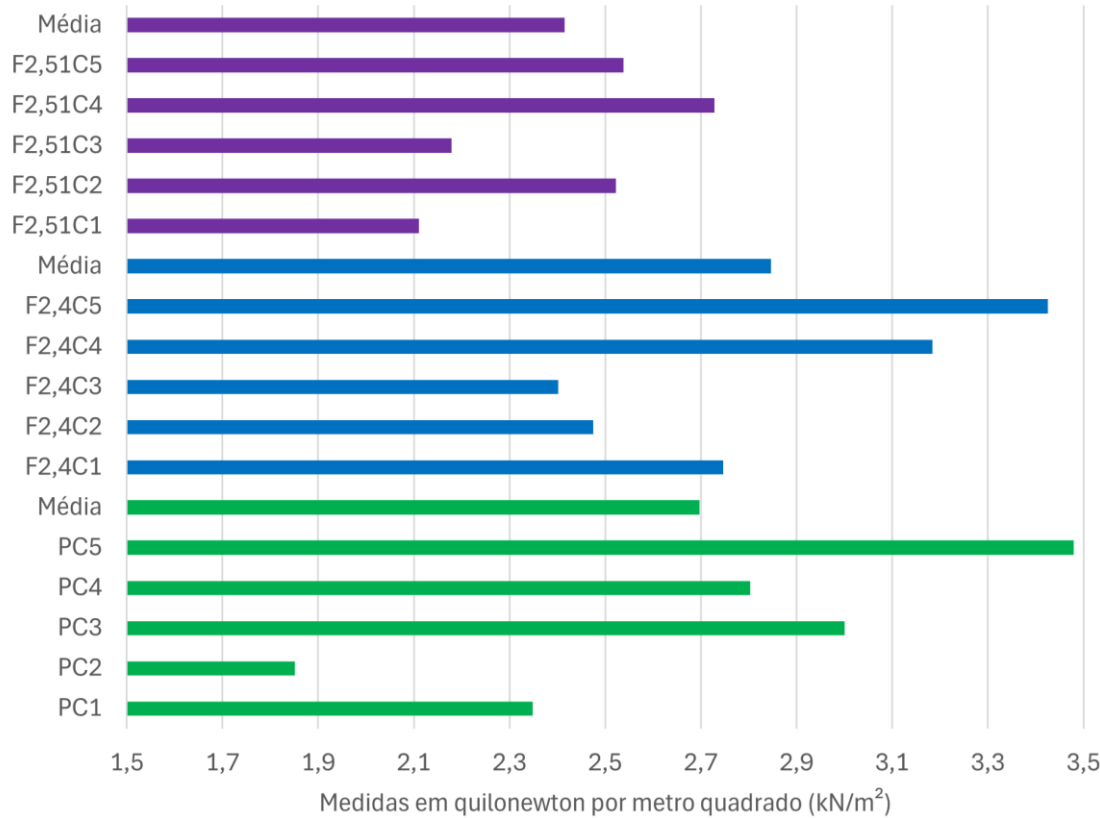
Fonte: Autor

Gráfico: Tensão de ruptura das amostras de compressão.



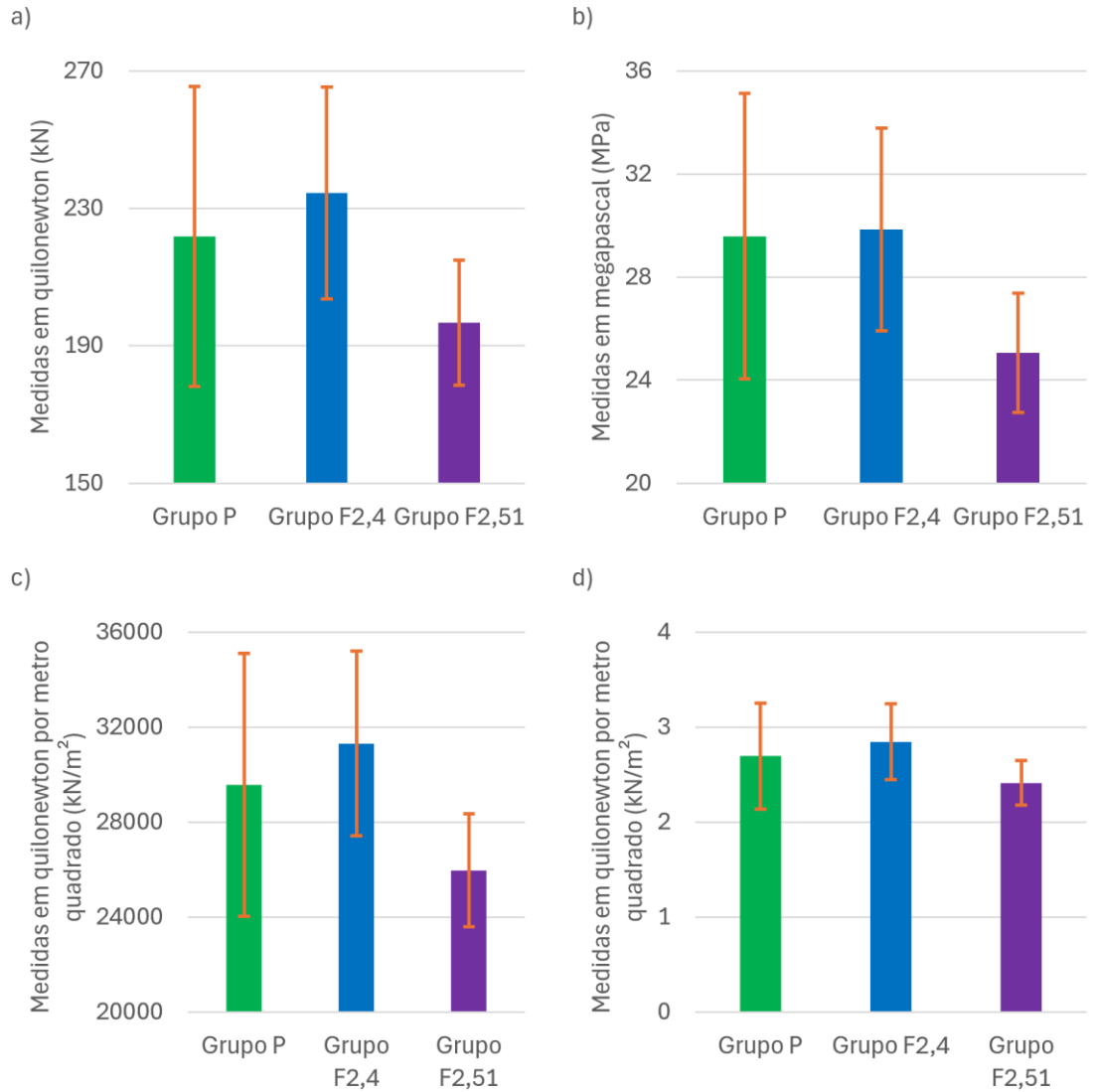
Fonte: Autor

Gráfico: Resistência pós Fator de Correção da NBR 5739 das amostras de compressão;



Fonte: Autor

Gráfico: Resultados do ensaio de compressão, média e desvio padrão. a) Força aplicada registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; b) Resistência registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; c) Tensão de ruptura calculada após os testes de compressão e d) Cálculo da resistência pós aplicação do fator de correção segundo NBR 5739



Fonte: Autor.

Apêndice D

TABELA: Dados coletados durante o teste de flexão, grupo P.

Dados Flexão	PF1	PF2	PF3	PF4	PF5	Média	Desvio Padrão
Largura (m)	0,148	0,15	0,148	0,147	0,151	0,1488	0,001469694
Altura (m)	0,148	0,148	0,147	0,148	0,149	0,148	0,000632456
Comprimento (m)	0,499	0,498	0,5	0,499	0,496	0,4984	0,001356466
Área secção transversal (m ²)	0,021904	0,0222	0,021756	0,021756	0,022499	0,022023	0,000287974
Volume (m ³)	0,010930096	0,0110556	0,010878	0,010856244	0,011159504	0,010975889	0,000114946
Peso (kg)	22,2	21,3	24,1	23,8	24	23,08	1,126765282
Densidade (kg/m ³)	2031,089205	1926,625421	2215,480787	2192,286761	2150,633218	2103,223078	108,7859205
Força aplicada (kN)	0	0	1693,987	8,29	12,305	10,2975	2,0075
Resistência (MPa)	0	0	238,356	1,166	1,63	1,398	0,232
Tensão de Ruptura (kN/m ²)	0	0	77862,98033	381,0443096	546,9131961	463,9787529	82,93444326
Fator de correção	0	0	0,095	0,112	0,075		
Resistência pós FC (kN/m ²)	0	0	70,49006114	0,415049509	0,407061216	0,411055362	0,003994146
Data do teste	08/05/2025	08/05/2025	13/05/2025	13/05/2025	13/05/2025		

Fonte: Autor

TABELA: Dados coletados durante o teste de flexão, grupo F2,4.

Dados Flexão	F2,4F1	F2,4F2	F2,4F3	F2,4F4	F2,4F5	Média	Desvio Padrão
Largura (m)	0,15	0,152	0,147	0,148	0,149	0,1492	0,00172
Altura (m)	0,148	0,149	0,149	0,151	0,152	0,1498	0,00147
Comprimento (m)	0,5	0,498	0,499	0,5	0,498	0,499	0,000894
Área secção transversal (m ²)	0,0222	0,022648	0,021903	0,022348	0,022648	0,0223494	0,000283
Volume (m ³)	0,0111	0,011278704	0,010929597	0,011174	0,011278704	0,011152201	0,00013
Peso (kg)	22,1	22	21,6	21,9	22	21,92	0,172047
Densidade (kg/m ³)	1990,990991	1950,578719	1976,285127	1959,906927	1950,578719	1965,668097	15,76414
Força aplicada (kN)	0	13,374	13,605	11,699	12,103	12,69525	0,811114
Resistência (MPa)	0	1,783	1,876	1,56	1,582	1,70025	0,133593
Tensão de Ruptura (N/m ²)	0	590,5157188	621,147788	523,4920351	534,3959732	567,3878788	40,12585
Fator de correção	0	0,45	0,45	0,45	0,45		
Resistência pós FC (N/m ²)	0	0,879028147	0,924626342	0,811060842	0,844513224	0,864807139	0,042075
Data do teste	45797	45797	45797	45797	45797		

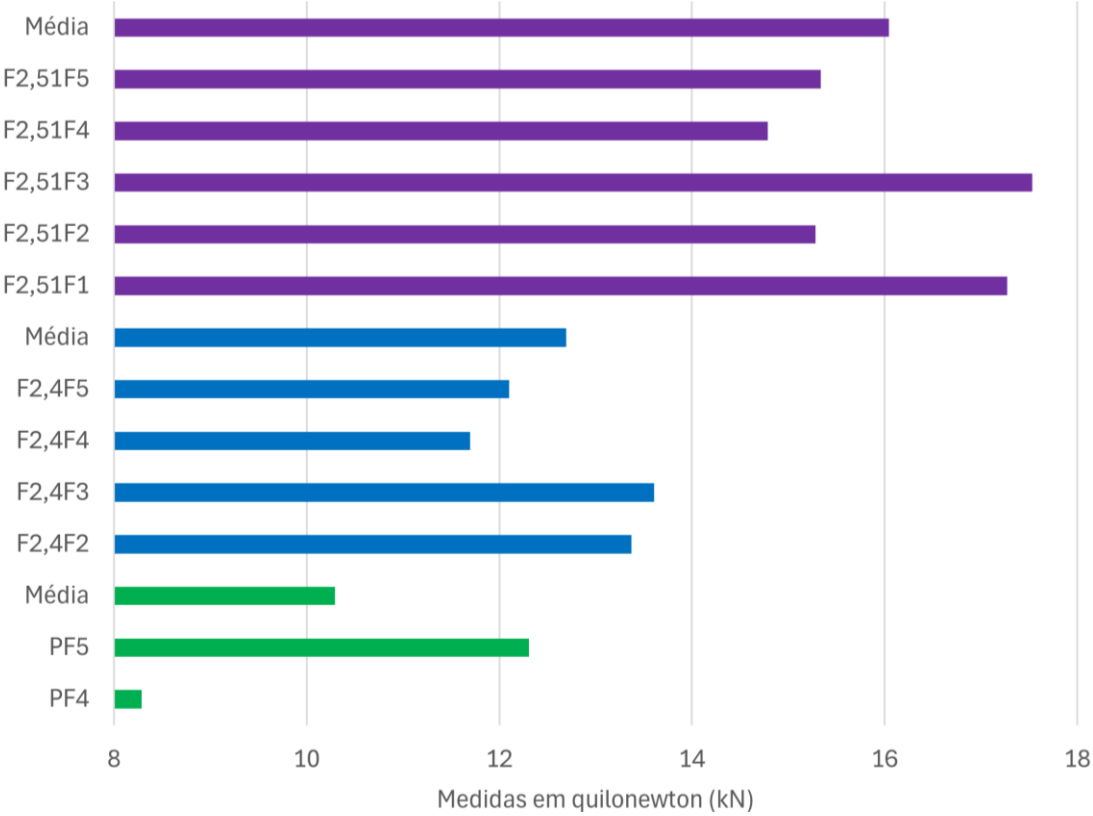
Fonte: Autor

TABELA: Dados coletados durante o teste de flexão, grupo F2,51.

Dados Flexão	F2,51F1	F2,51F2	F2,51F3	F2,51F4	F2,51F5	Média	Desvio Padrão
Largura (m)	0,149	0,149	0,15	0,152	0,151	0,1502	0,001166
Altura (m)	0,148	0,149	0,148	0,149	0,148	0,1484	0,00049
Comprimento (m)	0,499	0,499	0,499	0,499	0,5	0,4992	0,0004
Área secção transversal (m ²)	0,022052	0,022201	0,0222	0,022648	0,022348	0,0222898	0,000202
Volume (m ³)	0,011003948	0,011078299	0,0110778	0,011301352	0,011174	0,01112708	0,000103
Peso (kg)	21,3	21,6	21,7	21,8	22	21,68	0,231517
Densidade (kg/m ³)	1935,668907	1949,75781	1958,8727	1928,972746	1968,856273	1948,425687	14,62516
Força aplicada (kN)	17,274	15,28	17,533	14,789	15,338	16,0428	1,130236
Resistência (MPa)	2,382	2,079	2,386	2,012	2,087	2,1892	0,161177
Tensão de Ruptura (kN/m ²)	783,3303102	688,2572857	789,7747748	652,9936418	686,3253982	720,1362821	55,69665
Fator de correção	0,45	0,118	0,45	0,45	0,117		
Resistência pós FC (kN/m ²)	1,14272727	0,80595888	1,152128496	0,972031349	0,780948389	0,970758877	0,158529
Data do teste	27/05/2025	27/05/2025	27/05/2025	27/05/2025	27/05/2025		

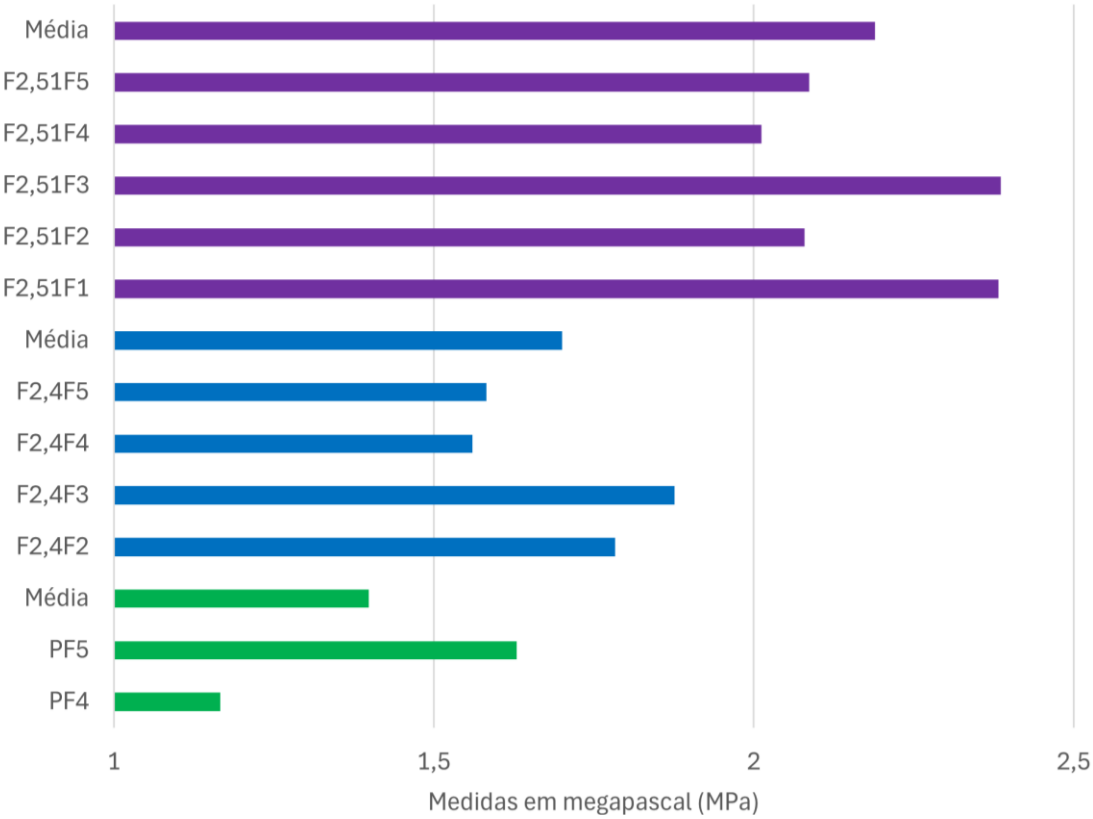
Fonte: Autor

Gráfico: Força aplicado registrada no momento da ruptura das amostras de compressão.



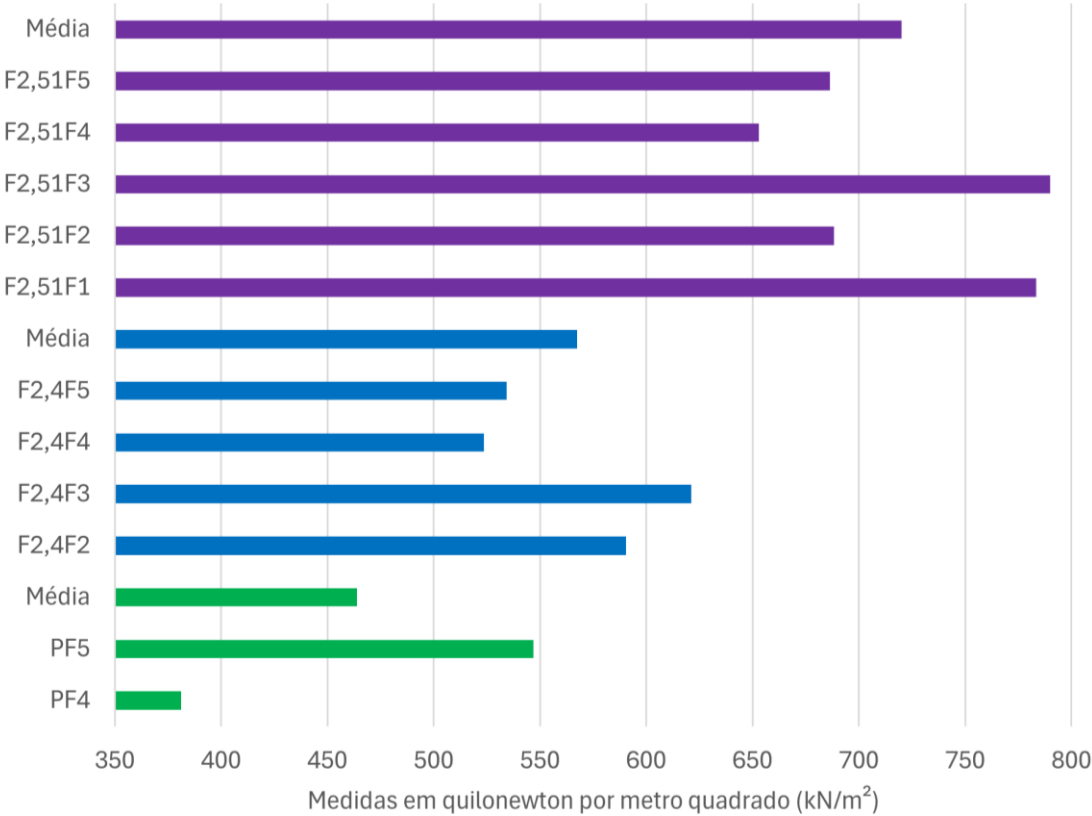
Fonte: Autor

Gráfico: Resistência registrada no momento da ruptura das amostras de compressão.



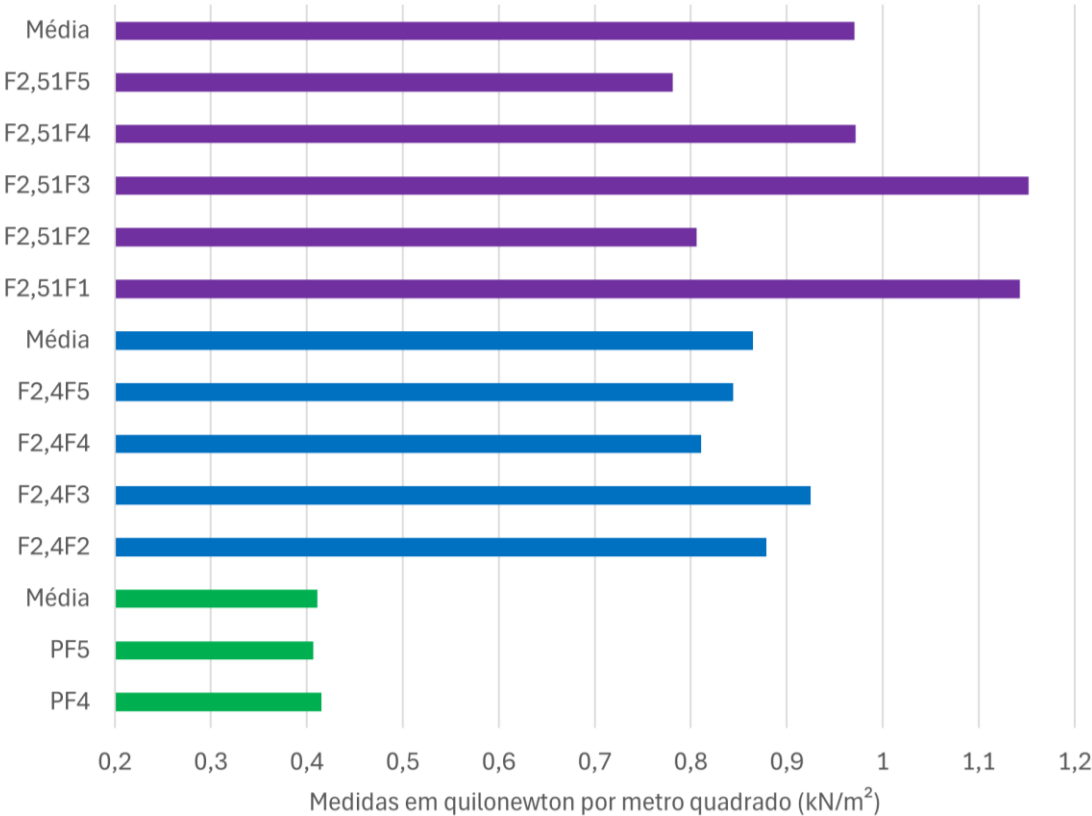
Fonte: Autor

Gráfico: Tensão de ruptura das amostras de compressão.



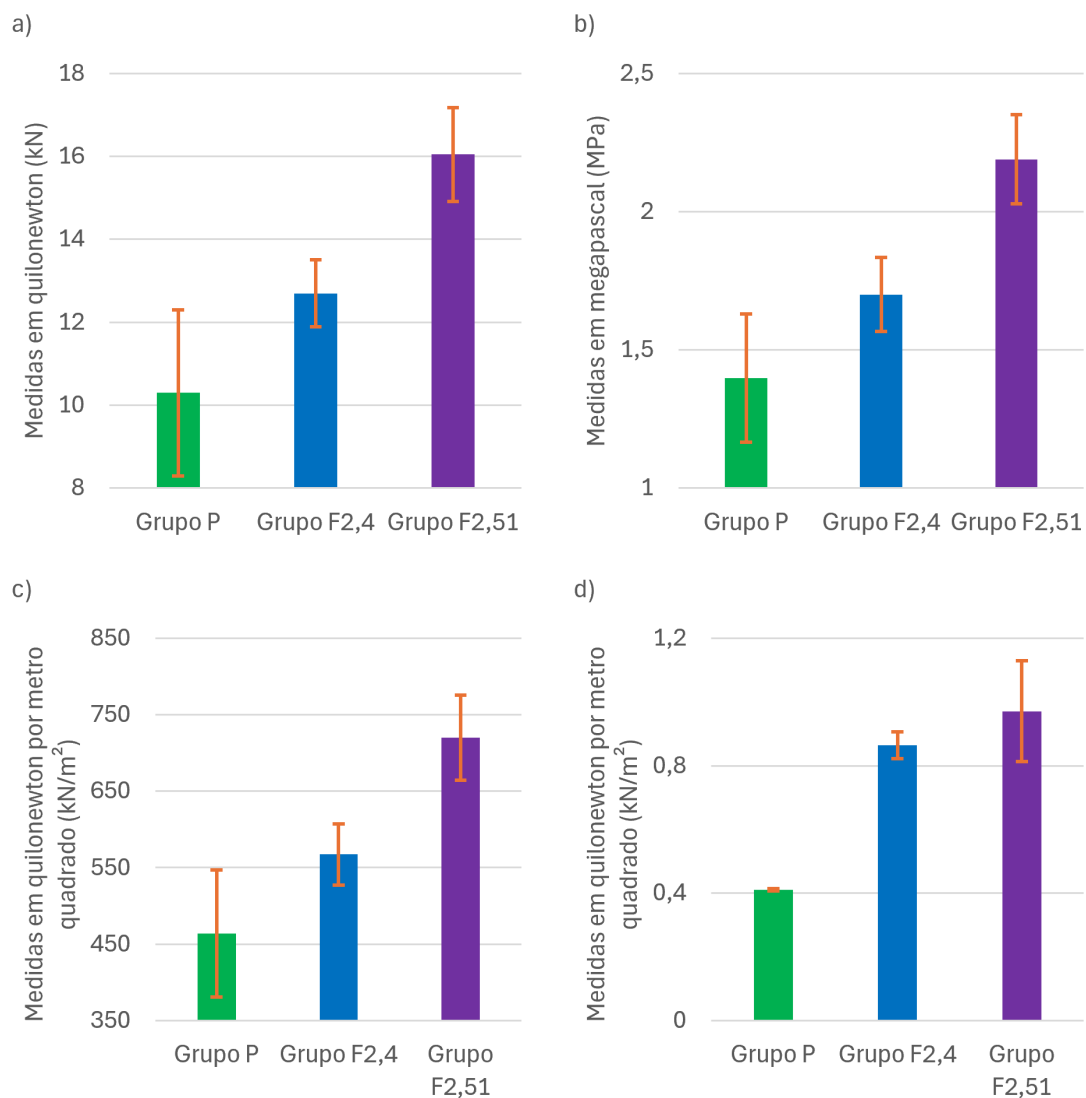
Fonte: Autor

Gráfico: Resistência pós Fator de Correção da NBR 5739 das amostras de compressão.



Fonte: Autor

Gráfico: Resultados do ensaio de compressão, média e desvio padrão. a) Força aplicada registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; b) Resistência registrada no momento da ruptura nos testes de compressão; c) Tensão de ruptura calculada após os testes de compressão e d) Cálculo da resistência pós aplicação do fator de correção segundo NBR 5739



Fonte: Autor.

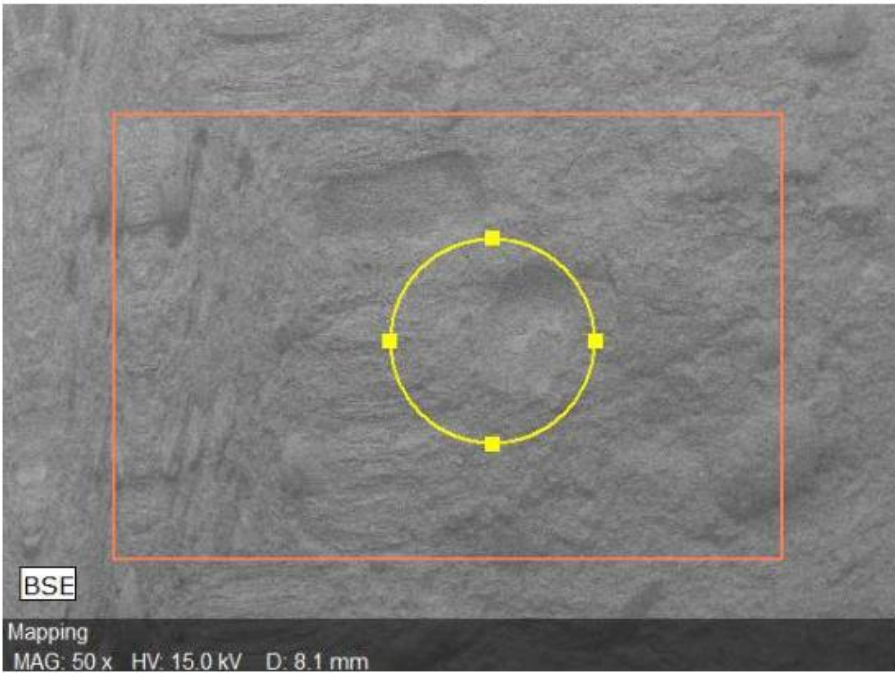
Apêndice E

Tabela: Dados de amostra sem FCV.

Element	AN	Series	norm. C - [wt.%]	Atom. C - [at.%]
Oxigênio	8	K-series	53,43%	68,88%
Cálcio	20	K-series	32,59%	16,77%
Silício	14	K-series	7,79%	5,72%
Carbono	6	K-series	4,09%	7,02%
Alumínio	13	K-series	2,10%	1,60%
Total:			100%	100%
Legenda				
Parâmetro			Tradução	
Element			Elemento	
AN			Número atômico	
Series			Série	
norm. C - [wt.%]			Porcentagem em peso do elemento	
Atom. C - [at.%]			Concentração atômica em porcentagem	

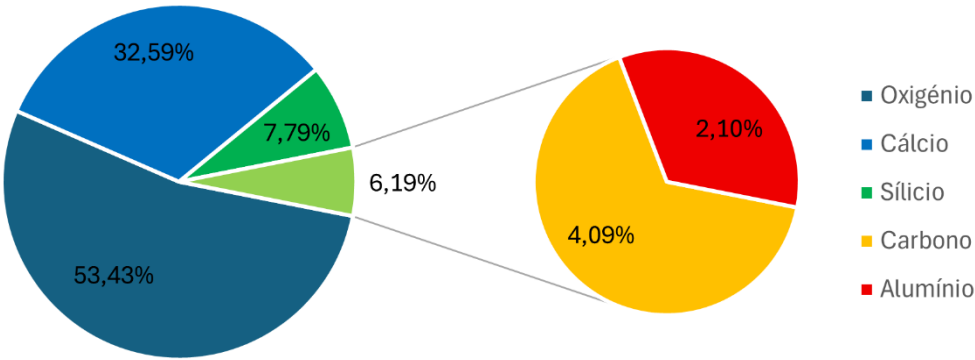
Fonte: Autor

Gráfico: EDS, área de análise selecionada, amostra sem FCV



Fonte: Autor

Gráfico: EDS, Amostra sem FCV



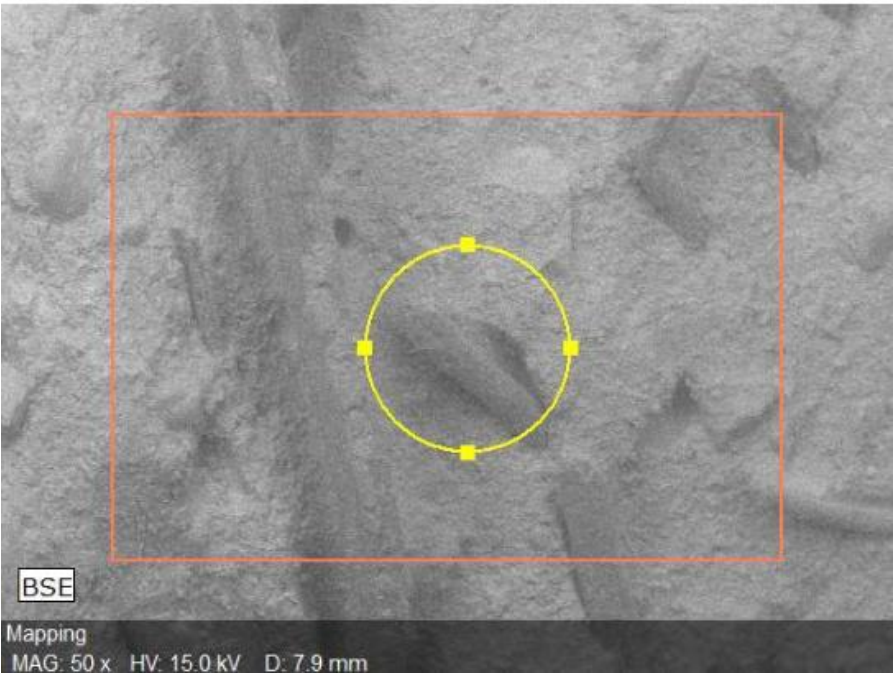
Fonte: Autor

Tabela: Dados de amostra com FCV

Element	AN	Series	norm. C - [wt.%]	Atom. C - [at.%]
Oxigénio	8	K-series	49,44%	54,67%
Carbono	6	K-series	20,82%	30,66%
Cálcio	20	K-series	20,42%	9,02%
Silício	14	K-series	5,50%	3,46%
Alumínio	13	K-series	1,90%	1,25%
Potássio	19	K-series	1,26%	0,57%
Enxofre	16	K-series	0,67%	0,37%
Total:			100%	100%
Legenda				
Parâmetro		Tradução		
Element		Elemento		
AN		Número atômico		
Series		Série		
norm. C - [wt.%]		Porcentagem em peso do elemento		
Atom. C - [at.%]		Concentração atômica em porcentagem		

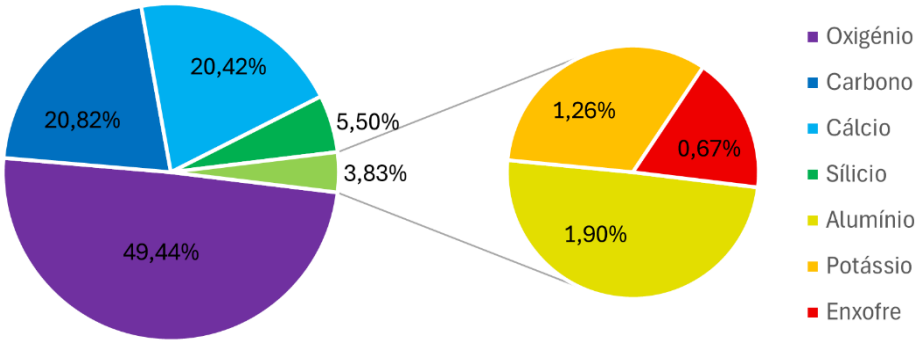
Fonte: Autor

Gráfico: EDS, área de análise selecionada, amostra com FCV



Fonte: Autor

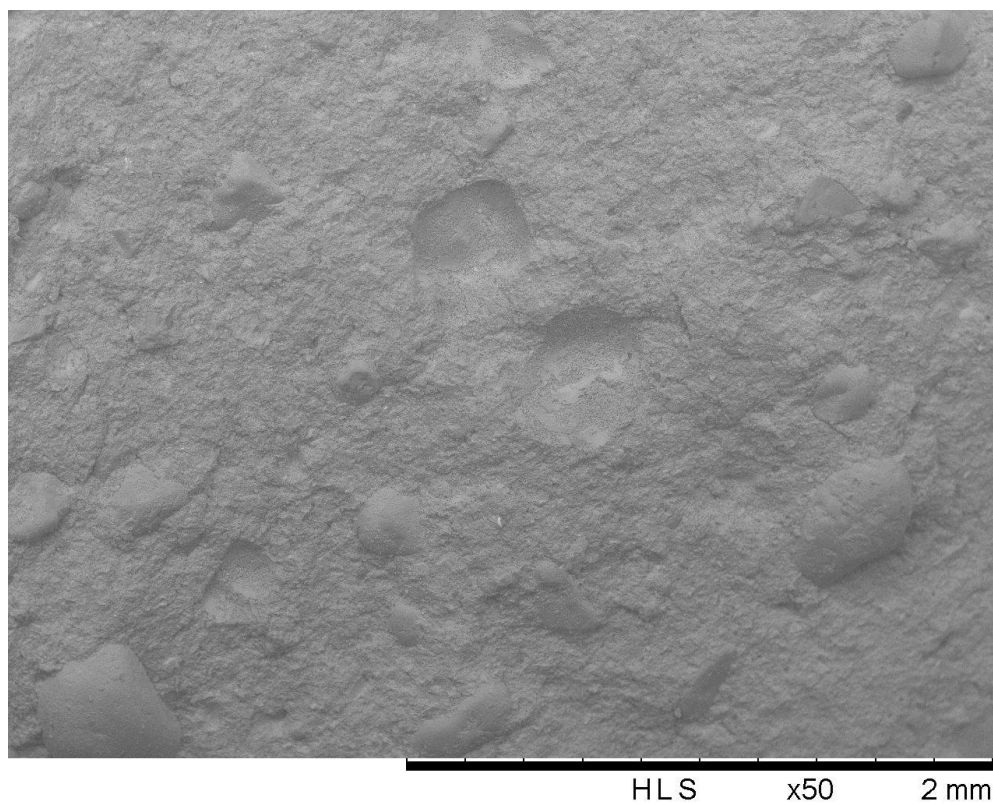
Gráfico: EDS, Amostra com FCV



Fonte: Autor

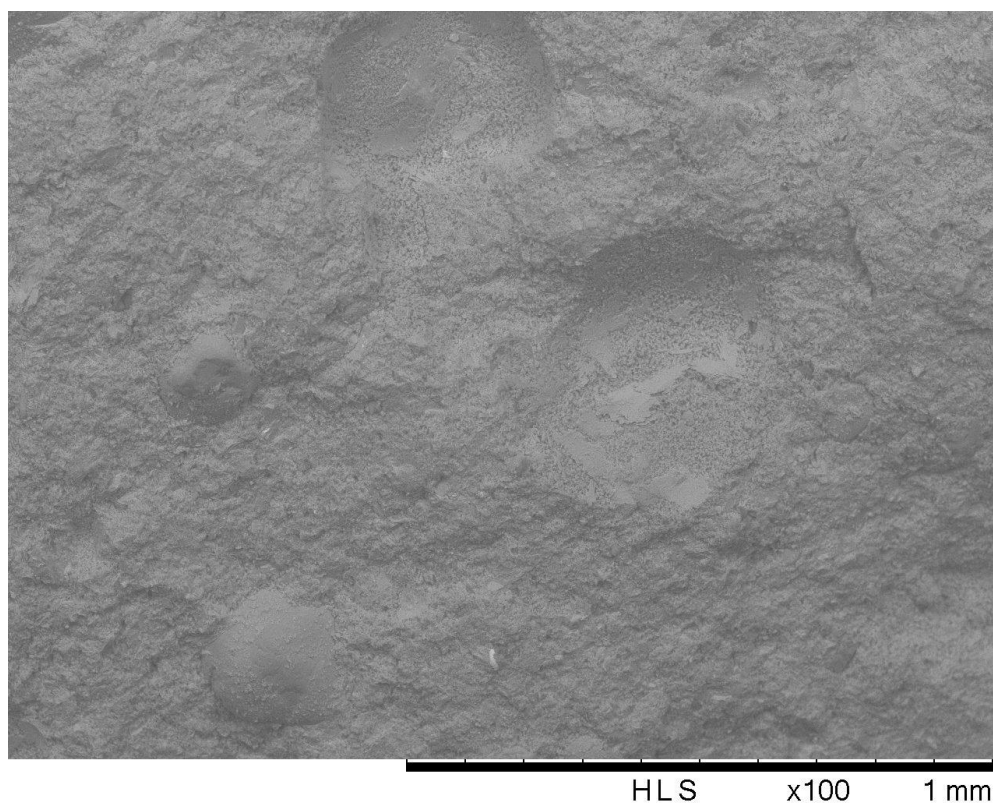
Apêndice F

Gráfico: MEV, 50x, Amostra sem FCV



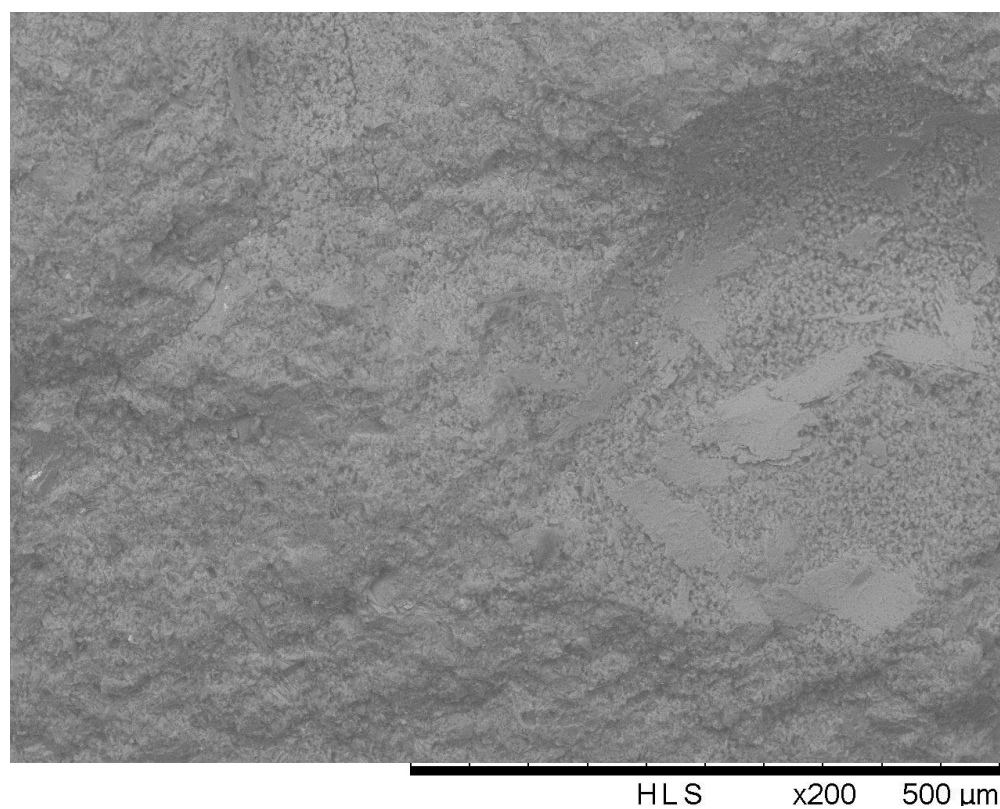
Fonte: Autor

Figura: MEV, 100x, Amostra sem FCV



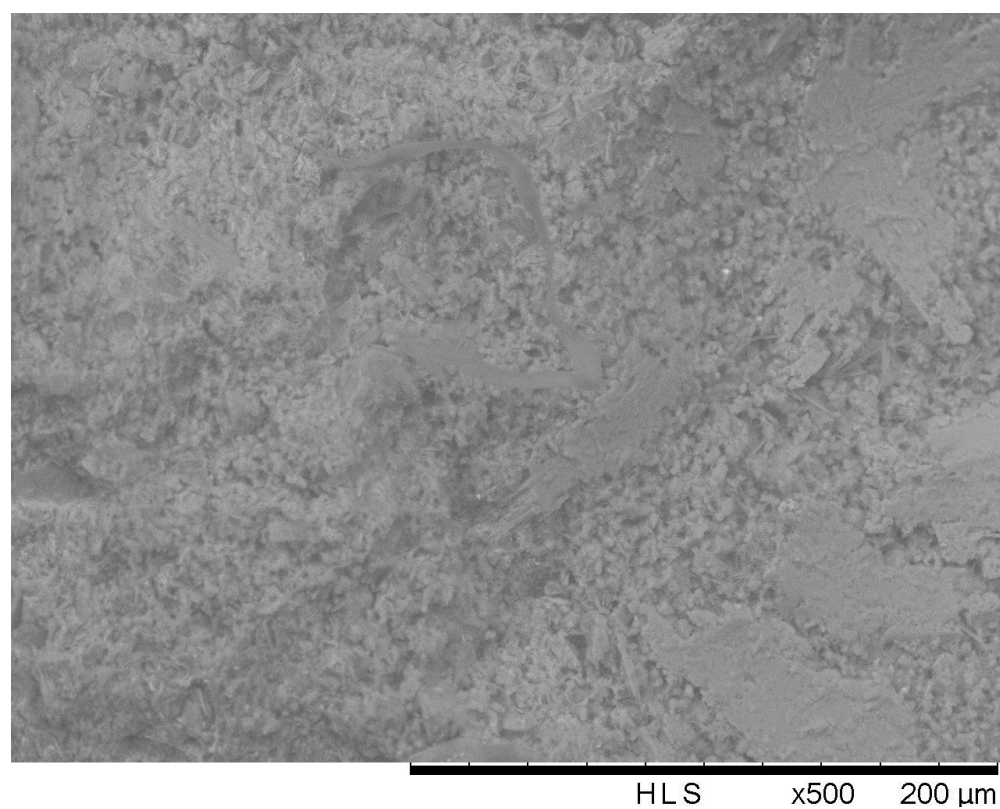
Fonte: Autor

Figura: MEV, 200x, Amostra sem FCV



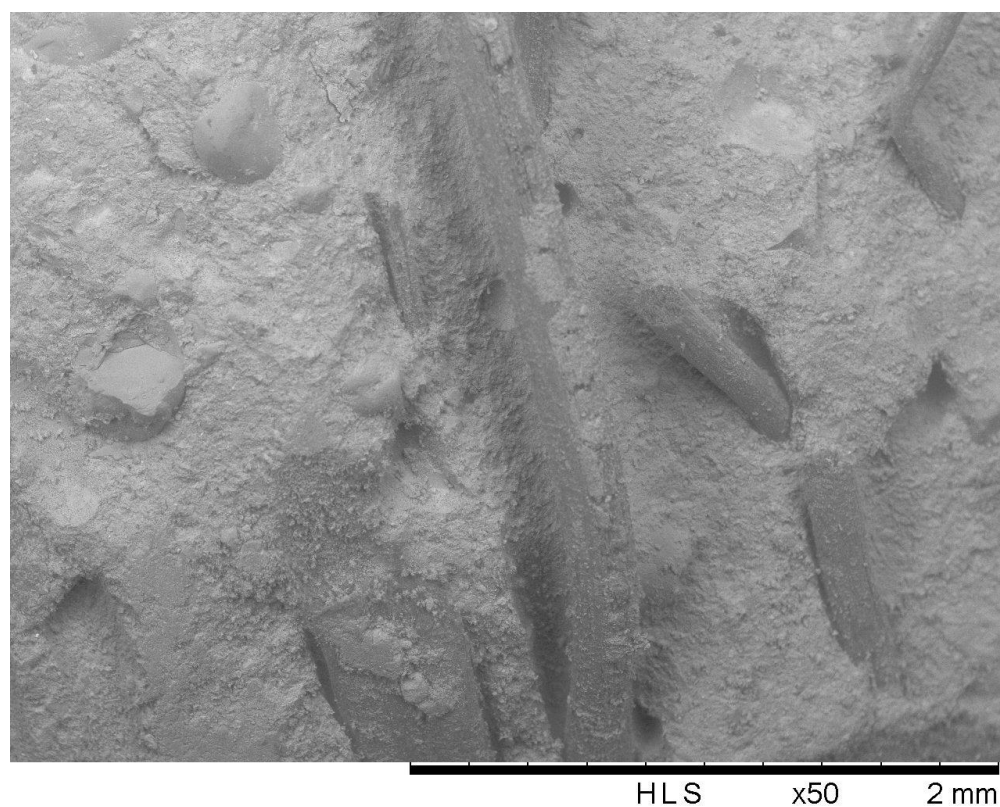
Fonte: Autor

Figura: MEV, 500x, Amostra sem FCV



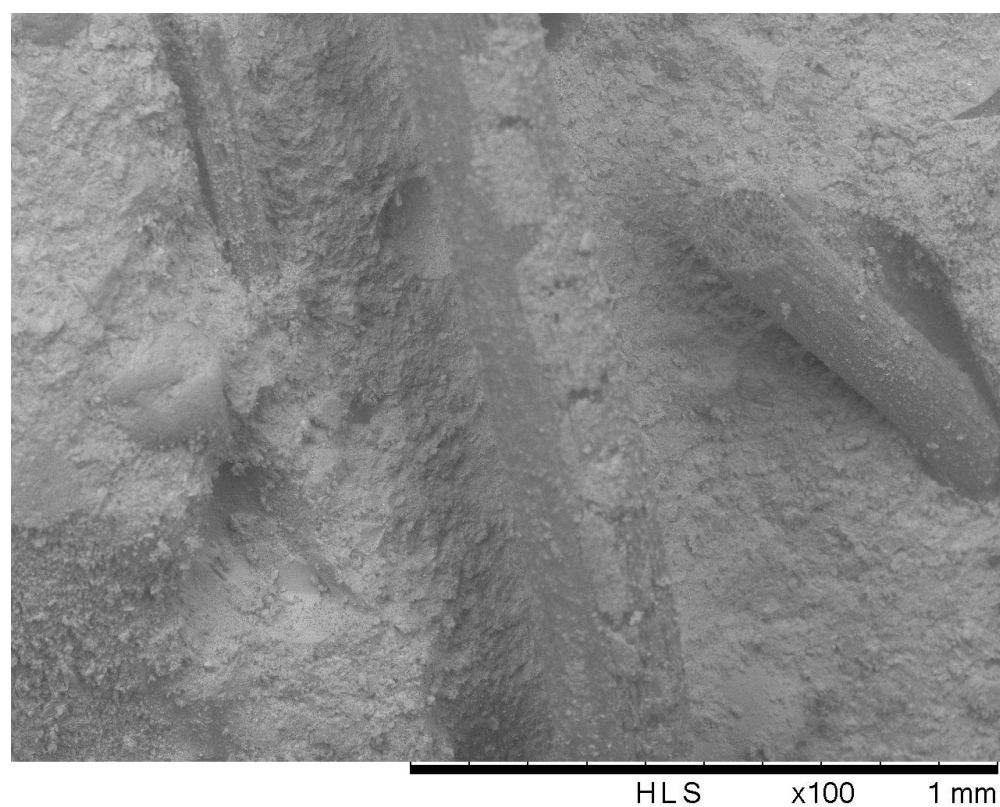
Fonte: Autor

Figura: MEV, 50x, Amostra com FCV



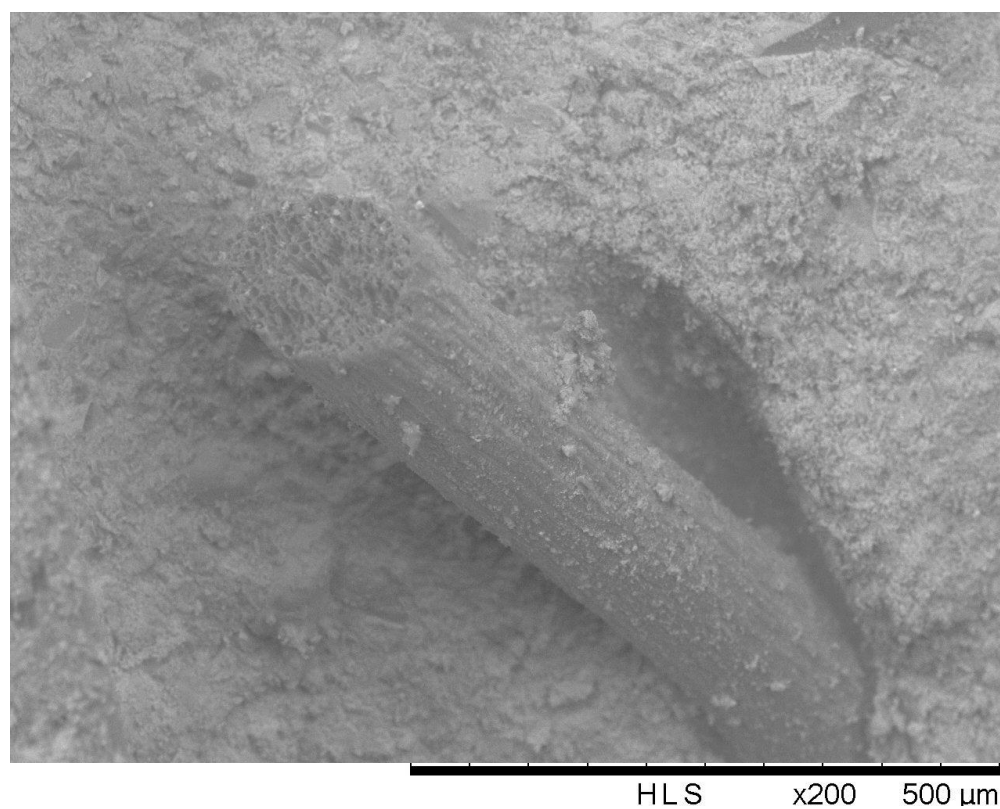
Fonte: Autor

Figura: MEV, 100x, Amostra com FCV



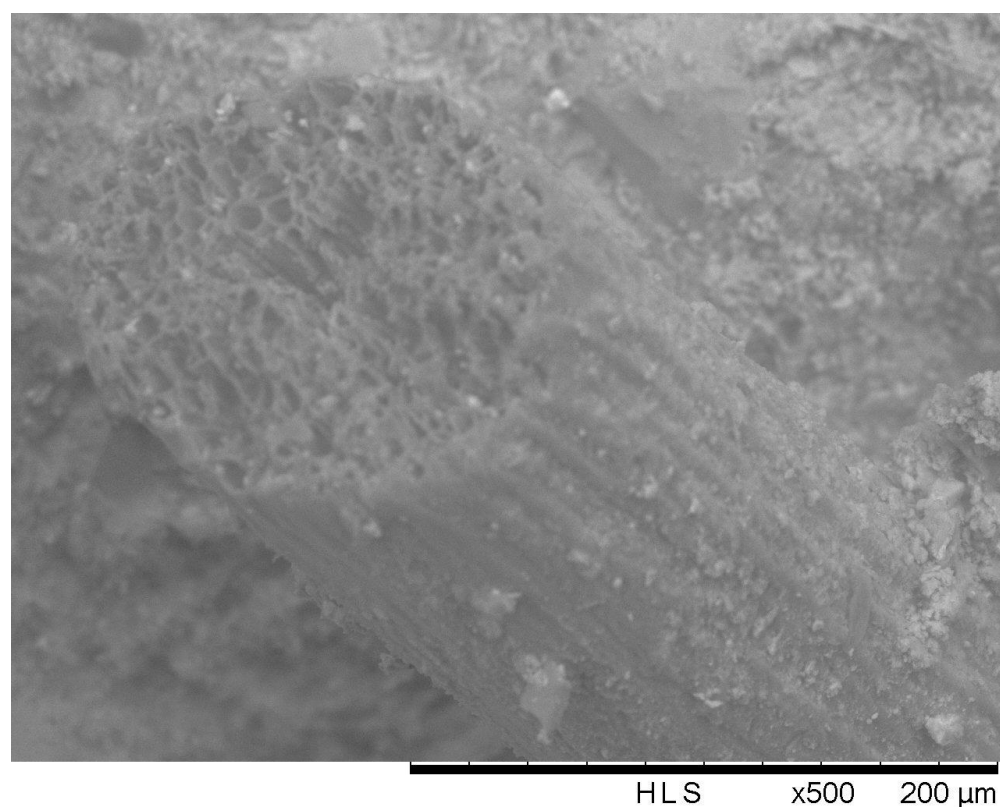
Fonte: Autor

Figura: MEV, 200x, Amostra com FCV



Fonte: Autor

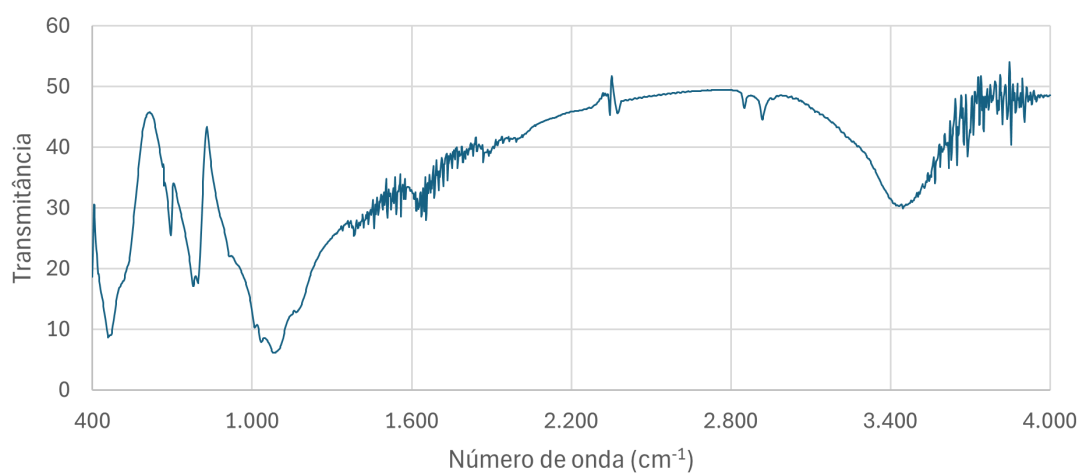
Figura: MEV, 500x, Amostra com FCV



Fonte: Autor

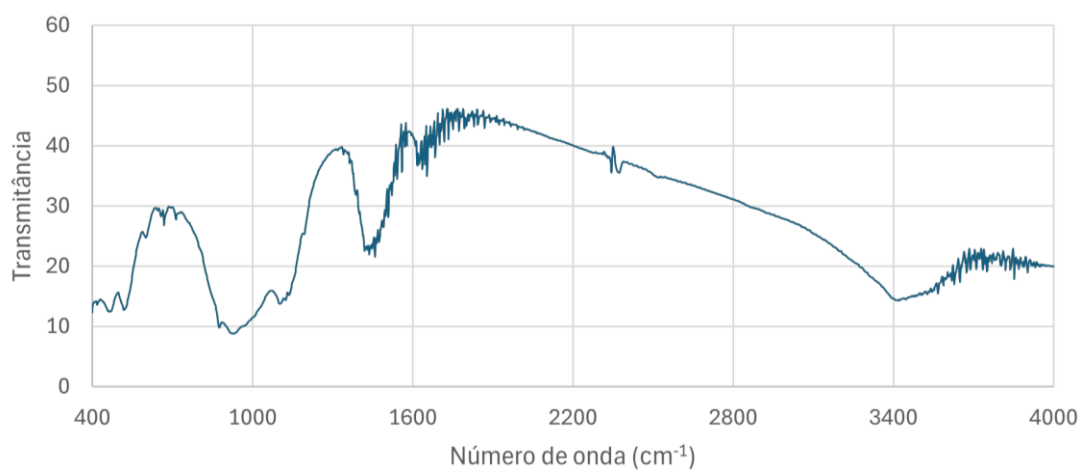
Apêndice G

Gráfico: FTIR, amostra de areia



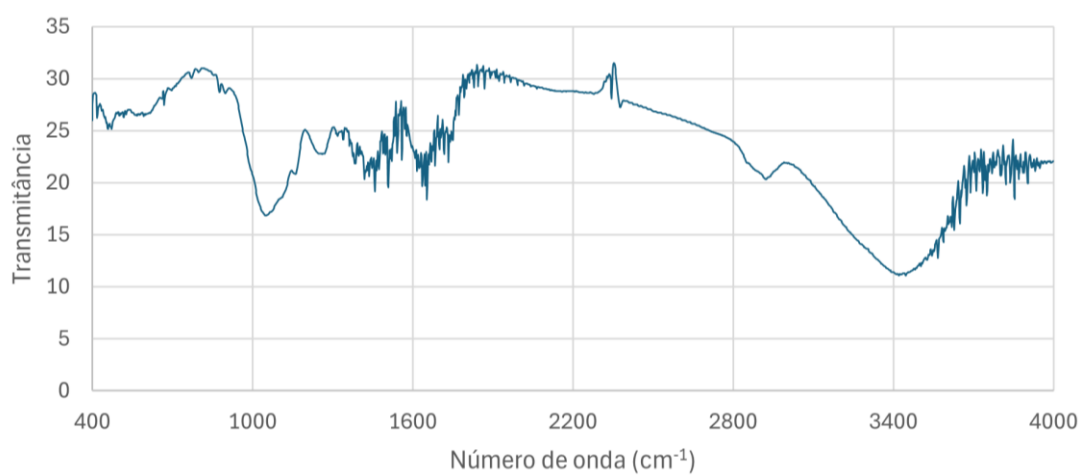
Fonte: Autor

Gráfico: FTIR, amostra de cimento



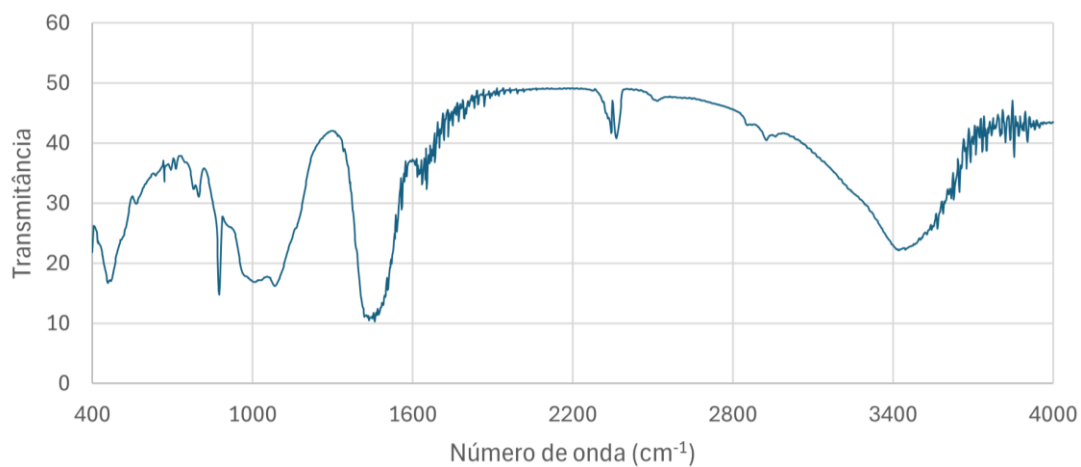
Fonte: Autor

Gráfico: FTIR, amostra de FCV



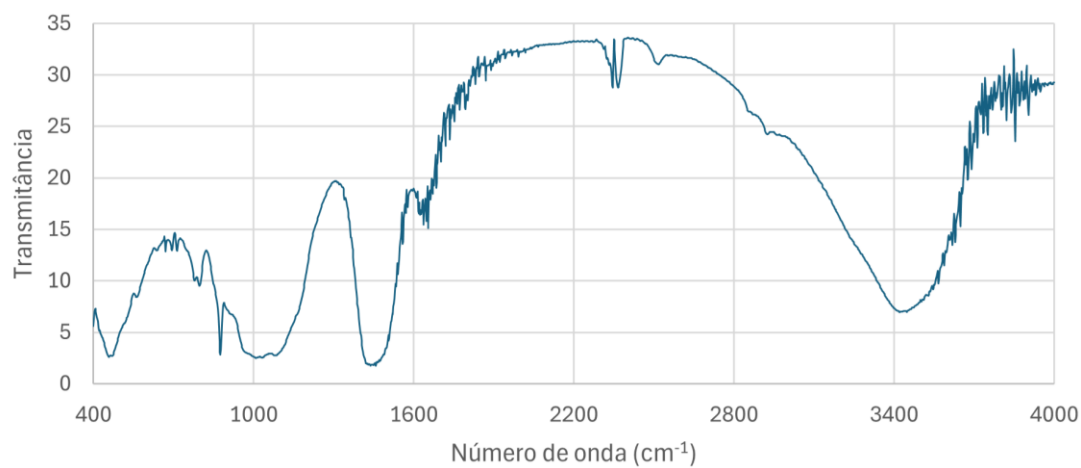
Fonte: Autor

Gráfico: FTIR, amostra sem FCV



Fonte: Autor

Gráfico: FTIR, amostra com FCV



Fonte: Autor