

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FORMA COLABORANTE PARA ELEMENTOS ESTRUTURAIS USUAIS DE
CONCRETO ARMADO - PRODUZIDA COM MATRIZ CIMENTÍCIA,
REFORÇADA COM ARMADURA TÊXTIL DE TECIDO DE JUTA, IMPREGNADA
COM RESINA DE EPÓXI

JOSÉ ALCIDES QUEIROZ LIMA

MANAUS
2019

JOSÉ ALCIDES QUEIROZ LIMA

**FORMA COLABORANTE PARA ELEMENTOS ESTRUTURAIS USUAIS DE
CONCRETO ARMADO - PRODUZIDA COM MATRIZ CIMENTÍCIA,
REFORÇADA COM ARMADURA TÊXTIL DE TECIDO DE JUTA, IMPREGNADA
COM RESINA DE EPÓXI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração, Materiais de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Lizandro Manzato

MANAUS

2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Lima, José Alcides Queiroz

L732f Forma colaborante para elementos estruturais usuais de concreto armado - produzida com matriz cimentícia, reforçada com armadura têxtil de tecido de juta, impregnada com resina de epóxi. / José Alcides Queiroz Lima. 2019

187 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Prof. Dr. Lizandro Manzato

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº. 014/2019

ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO AO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

DATA DO EXAME: 19/08/2019

DISCENTE: José Alcides Queiroz Lima

ORIENTADOR: Prof. Dr. Lizandro Manzato

BANCA EXAMINADORA: (Nome Completo)

Prof. Dr. Lizandro Manzato (Presidente)

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Membro Interno)

Prof. Dr. Holmer Savastano Junior (Membro Externo)

TITULO DA PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO: FORMA COLABORANTE PARA ELEMENTOS ESTRUTURAIS USUAIS DE CONCRETO ARMADO - PRODUZIDA COM MATRIZ CIMENTÍCIA, REFORÇADA COM ARMADURA TÊXTIL DE TECIDO DE JUTA, IMPREGNADA COM RESINA DE EPÓXI

LOCAL: Sala II do Bloco de Pós-graduação da Faculdade de Tecnologia

HORA DE INÍCIO: 15h00

De acordo com o Regimento Interno do Programa Pós – Graduação em Engenharia Civil, aprovados pelo Conselho de Ensino e Pesquisa/CONSEP/UFAM e CAPES, o (a) aluno (a) submeteu sua dissertação em forma escrita e oral, sendo após exposição de cerca de 49 minutos arguido oralmente pelos membros da banca, tendo tido como resultado:

Aprovação por unanimidade de sua dissertação. O (A) aluno (a) foi considerado aprovado, podendo pleitear o título de Mestre.

Reprovação de sua Dissertação. O (A) aluno (a) não foi considerado aprovado (a) na sua Defesa de Dissertação. Não podendo pleitear o título de Mestre.

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que será assinada pelos membros da banca e pelo (a) aluno (a).

Observações _____

Manaus, 19 de agosto de 2019

Prof. Dr. Lizandro Manzato (Presidente)

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Membro Interno)

Prof. Dr. Holmer Savastano Junior (Membro Externo)

José Alcides Queiroz Lima (Discente)

Dedico esse trabalho, as pessoas mais importantes da minha vida, a minha mãe in memória, a minha amada esposa, a minha filha querida e ao adorado senhor Deus.

AGRADECIMENTOS

Aproveito a oportunidade, para agradecer a UFAM, por oferecer, cursos voltados a especialização de profissionais da engenharia civil do Amazonas, e por colocar à disposição, toda uma estrutura e coordenação para o desenvolvimento de trabalhos científicos.

Faço um agradecimento aos professores, que durante todo o curso de mestrado, nos deram o apoio necessário, nos ensinamentos teóricos e práticos, nos orientando em sala de aula, nos laboratórios de pesquisas e muitas vezes em pleno gozo de suas férias, especialmente ao Prof. Dr. João Almeida de Melo Filho.

Agradeço ao corpo técnico dos laboratórios da LEM/UFAM, em especial ao sr Nilson Braz Videll, pela dedicação prestada no desenvolvimento da matriz cimentícia desta pesquisa, e ao sr Diogo Milome Monteiro técnico do laboratório LAMAC/UFAM, pela presteza e gentileza.

Presto agradecimentos ao IFAM, pela utilização de suas instalações e de seus equipamentos na elaboração dos ensaios de rompimento dos corpos-de-prova, de DRX, Microscopia digital, moagem e peneiramentos, em especial ao professor Mitsuo Lopes Takeno pela atenção prestada nos ensaios.

Também agradeço a Konkrex, pelo fornecimento gratuito de cimento e ao empresário Ricardo Benzecry, por permitir a pesquisa exploratória nas instalações de Empresa JUTAL S.A.

Especialmente agradeço ao Prof. Dr. Lizandro Manzato, por ter me ajudado na orientação deste trabalho, na logística para aquisição de materiais e por facilitar a utilização de equipamentos de ensaios em instalações distintas dos laboratórios da UFAM/IFAM

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta as mudanças.”

Charles Darwin (1859).

RESUMO

Este trabalho refere-se ao desenvolvimento de uma forma colaborante cimentícia, com o propósito de substituir as tradicionais formas de madeira utilizadas nos canteiros de obras, para produção de elementos estruturais de concreto, tipo vigas, lajes e pilares. Trata-se de painéis nervurados de fina espessura, moldados com compósito, constituído de uma fase contínua de matriz cimentícia com as características combinadas das argamassas de concreto autoadensável (CAA) e das argamassas de concreto de alta resistência (CAR). A outra fase, que corresponde a de reforço, é uma armadura têxtil, que utiliza um tecido de fibra de juta impregnada com resina de epóxi. Neste trabalho, a metodologia aplicada, foi a exploratória e experimental, sendo, os resultados analisados quantitativamente. Os componentes da matriz cimentícia e da armadura têxtil, foram caracterizados física e quimicamente, de acordo com a ABNT e por meio de espectrometria de fluorescência de raio-X (FRX), por difração de raio-X (DRX) e de raio Laser. No desenvolvimento da armadura têxtil, foram efetuados procedimentos para o revestimento do tecido de juta com impregnação de resina de epóxi. Do mesmo modo, no desenvolvimento da matriz cimentícia, foram efetuados procedimentos experimentais, no sentido da obtenção da dosagem em proporções desejáveis de um traço, que atribuiu-lhe características de grande fluidez, autonivelamento e alta resistência, propriedades de um concreto de alto desempenho (CAD). Amostras da matriz cimentícia e da armadura têxtil, foram analisadas individualmente por intermédio de corpos-de-prova, para verificação das suas propriedades adquiridas. Após a otimização do compósito desenvolvido, foram produzidas placas de forma colaborante medindo 40x40 cm, que serviram de corpo-de-prova durante os ensaios e análises do comportamento mecânico. Além desses ensaios, as placas foram avaliadas quanto a durabilidade no que se refere a absorção e a impermeabilidade, também foi verificado, a compactidade e a conformidade dos aspectos internos da microestrutura do compósito, utilizando-se microscopia óptica. Os resultados obtidos, confiaram à matriz cimentícia, características de concreto de alto desempenho (CAD II) com resistência característica na compressão axial de f_{ck} 118,9 MPa e à armadura têxtil, a capacidade de resistir a tensão de tração direta máxima de 70,8 MPa. A placa nervurada cimentícia da forma colaborante produzida com o compósito, alcançou a resistência máxima de 17,0 MPa de tração na flexão.

Palavras-chave: Forma Colaborante. Armadura Têxtil. Concreto CAA. Concreto CAR. Concreto CAD.

ABSTRACT

This work refers to the development of a cooperative cementitious form, with the purpose of replacing traditional wooden forms used in construction sites, for the production of concrete structural elements, like beams, slabs and pillars. It is ribbed panels of thin thickness, molded composite, consisting of a solid phase of cementitious matrix with the combined features of self-compacting concrete mortars (SCC) and the of high-strength concrete mortars (HSC). The other dispersed phase, which corresponds to, is a textile armor, which uses a jute fiber fabric impregnated with epoxy resin. In this work, the methodology applied was the exploratory and experimental, and the results analyzed quantitatively. The components of the cementitious matrix and of textile armor, were characterized physically and chemically, according to ABNT and through mass spectrometry x-ray fluorescence (FRX), by x-ray diffraction (DRX) and x-ray Laser. In the development of textile armor, procedures were carried out for the jute fabric coating with epoxy resin impregnation. Likewise, in the development of cementitious matrix, experimental procedures were carried out, in the sense of getting the dosage in desirable proportions of a trace, which awarded her features of great fluidity, self-leveling and high resistance, properties of a concrete of high performance concrete (HPC). Samples of the cementitious matrix and of textile armor, were analyzed individually through bodies of evidence, for verification of their acquired properties. After the optimization of composite developed, were produced form cooperative boards measuring 40 x 40 cm, which served as a bodies of evidence during the tests and analyses of the mechanical behavior. In addition to these essays the plates were evaluated the durability as regards absorption and impermeability, was also checked, the compactness and completeness of the internal aspects of the microstructure of composite, using optical microscopy. The results obtained, entrusted to the cementitious matrix, characteristics of high performance concrete (HPC II) with characteristic resistance in axial compression of f_{ck} 118.9 MPa and to the textile reinforcement, the ability to resist the maximum direct traction voltage of 70.8 MPa. The cementitious cement plate of the collaborative form produced with the composite, reached the maximum resistance of 17.0 MPa of flexural traction.

Keywords: Cooperative Form. Textile Armor. Concrete SCC. Concrete HSC. Concrete HPC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: configuração e montagem de painéis cimentícios de forma colaborante.	19
Figura 2: disposição da armadura têxtil na zona de tração do painel (medidas em mm).	20
Figura 3: Ilustração de laje mista <i>steel deck</i>	26
Figura 4: macro estrutura de um concreto.	27
Figura 5: micro estrutura de um concreto e zona de transição na interfase.	28
Figura 6: micro estrutura de um concreto após hidratação do cimento.	29
Figura 7: microfissuras na ZTI.	30
Figura 8: micrografia da ZTI.	30
Figura 9: micrografias das ZTIs do concreto CAA (a) e do concreto CCC (b).	31
Figura 10: diversos tipos e tamanhos de agregados.	32
Figura 11: aspectos da ZTI; sem adição de sílica ativa (a); com adição de sílica ativa (b).	33
Figura 12: cone de <i>Marsh</i> e o gráfico do ponto de saturação.	35
Figura 13: comparação do volume de vazios.	37
Figura 14: micrografias mostrando a microestrutura de um concreto de ultra-alta resistência.	40
Figura 15: corrosão típica de armadura.	42
Figura 16: adição de fibras de aço no concreto.	42
Figura 17: matriz cimentícia livre de hidróxido de cálcio com fibra de sisal.	44
Figura 18: concreto têxtil.	45
Figura 19: corte (a) e secagem (b) do processo de produção das fibras de juta.	46
Figura 20: equipamentos de tecelagem de juta,	47
Figura 21: tratamento de óleo vegetal nas fibras (a) e impermeabilização dos cordões de juta com goma (b).	47
Figura 22: tecido de juta com malha aberta (a), e bobina de tecido de juta de 1,00x10,00 m (b).	48
Figura 23: Gráficos de tensão máxima (a) e de Flexão 3 pontos (b).	49
Figura 24: chumbagem de incerto no piso (a) e de arranque de armadura com resina epóxi (b)	50
Figura 25: produtos similares de resinas de epóxi.	50
Figura 26: Fluxograma dos procedimentos utilizados na metodologia.	51
Figura 27: equipamento espectrometria de fluorescência de raio X.	57
Figura 28: difratometro de raio-X, (DRX).	58
Figura 29: instrumento para dimensionamento de partícula a <i>Laser</i>	60
Figura 31: método de microscopia óptica, microscópio (a), demarcação da secção (b) e espessura (c).	65
Figura 32: abertura da malha da armadura têxtil (a) e secção da espessura mais estreita da forma colaborante (b).	68
Figura 33: estufa com pó de britaa (a), balança com bolas(b), jarro (c) e moinho de bolas (d).	69
Figura 34: Jogo peneiras e agitador elétrico do procedimento de peneiramento.	70
Figura 35: dispositivo de fixação do tecido de juta.	72
Figura 36: processo de fixação do tecido de juta no dispositivo (a) tecido fixado (b).	72
Figura 37: secção do dispositivo de fixação - aplicação da força de pré-tração.	73
Figura 38: secção do dispositivo invertido – imersão do tecido de juta na resina de epóxi.	74
Figura 39: procedimento de impregnação do tecido de juta com resina epóxi.	75
Figura 40: procedimento de desobstrução das aberturas da malha do tecido de juta.	75
Figura 41: imagens da imersão, da retirada do excesso e da amostra do tecido de juta impregnado. ...	77
Figura 42: materiais, utensílios e equipamento utilizados durante o procedimento de permeabilidade.	79

Figura 43: Etapas de imersão (a), retirada do excesso (b) e pesagem (c), do ensaio de absorção de água.....	80
Figura 44: Dispositivo de tração (a), corpo-de-prova montado nas garras (b) e dimensões do corpo-de-prova (c).....	81
Figura 45: microscópio (a), medição de espessura (b) e marcação da secção transversal no IMAGEM J (c).....	84
Figura 46: equipamentos e utensílios (a) e ensaio de cone de <i>Marsh</i> (b).....	86
Figura 47: arranjos granulares teóricos do esqueleto granular.....	89
Figura 48: preenchimento dos vazios com cimento e adição de sílica ativa (cinza).....	91
Figura 49: Régua de alumínio (a), mesa vibratória (b), recipiente e peso (c).....	92
Figura 50: Esquema de decisões para ajustes do proporcionamento e respectivo ensaio.....	95
Figura 51: consistências dos traço de referência inferior (a), intermediário (b) e superior (c).....	97
Figura 52: Mesa de <i>Graff</i> (a), argamassadeira elétrica (b) e balança eletrônica digital (c).....	99
Figura 53: máquina universal mecânica (a), corpo-de-prova centrado (b).....	101
Figura 54: detalhes em perspectiva e seção, da placa nervurada da fôrma colaboram-te cimentícia – em mm.....	103
Figura 55: molde desmontado (a) e montado (b).....	104
Figura 56: detalhe em corte - encaixe da moldura de madeira no dispositivo de fixação.....	104
Figura 57: Montagem inicial do sistema de forma: dispositivo e quadro (a); depois de encaixados (b).....	105
Figura 58: sequência final da montagem: tampa e dispositivo (a); depois de montados (b).....	105
Figura 59: Molde preenchido (a) e início da desmontagem do sistema de forma (b).....	107
Figura 60: Corte dos cordões (a); desencaixe e aparas das pontas (b); retiradas dos módulos de nylon (c).....	108
Figura 61: procedimento de corte dos corpos-de-prova.....	110
Figura 62: Secção transversal e dimensões do corpo-de-prova.....	111
Figura 63: Ensaio de flexão e desenho esquemático do posicionamento do corpo-de-prova no dispositivo.....	112
Figura 64: deformação típica de tração na flexão Equação 30.....	112
Figura 65: Gráficos tensão x deformação, relativos as áreas dos módulo de resiliência e de tenacidade.....	113
Figura 66: amostras (a); amostras imersas (b); balança hidrostática digital (c); e estufa elétrica (c).....	116
Figura 67: corpos-de-prova utilizados nos ensaios de impermeabilização (a); dimensões do corpo-de-prova (b).....	118
Figura 68: pesagem da massa do corpo-de-prova com água, na determinação da impermeabilidade.....	119
Figura 69: equipamento utilizado na microscopia óptica.....	120
Figura 70: amostras dos corpos-de-prova, com armadura têxtil e com tecido de juta, utilizadas na microscopia.....	120
Figura 71: difratogramas do cimento, pó de brita e da sílica ativa.....	123
Figura 72: difratograma da fibra de juta.....	124
Figura 73: curvas granulométricas do pó de brita, do cimento e da sílica ativa.....	125
Figura 74: curva da distribuição granulométrica do pó de brita.....	126
Figura 75: materiais utilizado (a); comparação colorimétrica do teor de impureza (b).....	128
Figura 76: diagrama de tensão x deslocamento no sentido das tramas do tecido de juta.....	132
Figura 77: diagrama de tensão x deslocamento no sentido dos urdumes do tecido de juta.....	133
Figura 78: gráfico do tempo de absorção da resina epóxi.....	135
Figura 79: Gráfico dos ensaios de absorção, para a avaliação da permeabilidade da armadura têxtil.....	137
Figura 80: Gráfico de tensão x deformação dos corpos-de-prova da armadura têxtil, no sentido das tramas.....	139

Figura 81: Gráfico de tensão x deformação dos corpos-de-prova da armadura têxtil, no sentido dos urdumes.....	139
Figura 82: Gráfico comparativo entre as médias das tensões máximas do tecido de juta e da armadura têxtil.	140
Figura 83: Gráfico do ponto de saturação do Superplastificante.	142
Figura 84: ensaios de mini slump, espalhamento das pastas do limites inferior, intermediária e superior	142
Figura 85: consistência do traço inferior, com baixa plasticidade (a) e pouco espalhamento (b).	148
Figura 86: consistência plástica do traço intermediário (a) e espalhamento após os 30 golpes (b).	148
Figura 87: consistência fluida do traço superior (b) e espalhamento livre com autoadensabilidade (b).	149
Figura 88: Gráfico Tensão x Deformação do Traço Inferior - relação a/c = 0,26.	150
Figura 89: Gráfico Tensão x Deformação do Traço Intermediário – relação a/c = 0,32.	151
Figura 90: Gráfico Tensão x Deformação do Traço Superior – relação a/c = 0,38.	152
Figura 91: ruptura do corpo-de-prova (a); área de propagação da fissura e ruptura na região do terço médio (b).....	155
Figura 92: Tensões máximas média na ruptura à tração na flexão dos corpos-de-prova	155
Figura 93: Médias das flexões máximas dos corpo-de-prova no instante de ruptura.	156
Figura 94: Gráfico de Tensão x Deformação – compósito reforçado com tecido de juta no sentido dos urdumes.....	157
Figura 95: Gráfico de Tensão x Deformação – compósito reforçado com tecido de juta no sentido das tramas.....	157
Figura 96: Gráfico de Tensão x Def. – compósito reforçado com armadura têxtil, no sentido dos urdumes.....	158
Figura 97: Gráfico de Tensão x Deformação – compósito reforçado com armadura têxtil, no sentido dos tramas.	158
Figura 98: verificação no corpo-de-prova (a), quanto a manchas e vazamentos pela placa nervurada (b).....	161
Figura 99: secção transversal do cordão (a); microestrutura do cordão (b); interação entre matriz e fibras (c).....	162
Figura 100: secção transversal (a); microestrutura do cordão revestido (b); interação entre epóxi e a matriz (c).....	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: análise dos resultado dos ensaios de massa unitária, volume de vazios.	37
Tabela 2: Classe de concreto de alto desempenho (CAD)	40
Tabela 3: características químicas e físicas da sílica ativa.	54
Tabela 4: dados técnicos e características do superplastificante.	55
Tabela 5: características de fabricação do tecido de juta.	56
Tabela 6: Propriedades e características técnicas da resina de epóxi.	56
Tabela 7: Ensaio, métodos e Laboratórios para caracterização do Pó de Brita.	60
Tabela 8: exigências físicas e mecânicas do cimento Portland comum CP I-S 40.	61
Tabela 9: exigências químicas do cimento Portland comum CP I-S 40.	61
Tabela 10: Ensaio, métodos e Laboratórios para caracterização da Sílica Ativa.	62
Tabela 11: Ensaio, métodos e Laboratórios para caracterização do tecido de juta.	62
Tabela 12: Relação dos materiais componentes das pastas	88
Tabela 13: Relação dos corpos-de-prova disponíveis para os ensaios de tração na flexão	110
Tabela 14: propriedades geométrica da secção transversal do corpo de prova	111
Tabela 15: composição química dos materiais	121
Tabela 16: Ensaio químico do cimento Portland comum CP I-S 40. realizado na Konkrex	122
Tabela 17: Diâmetros das partículas dos materiais	125
Tabela 18: relatório da distribuição granulométrica do pó de brita.	126
Tabela 19: Resultados das áreas das superfícies específicas.	127
Tabela 20: Resultados de medições de distribuição de tamanho de partícula	129
Tabela 21: Características físicas e Propriedades mecânicas do cimento Portland CP I-S 40.	130
Tabela 22: relatório dos ensaios de tração direta nas amostras de tecido de juta	131
Tabela 23: resultados das áreas das seções dos cordões do tecido de juta	132
Tabela 24: Resultados dos cálculos da tensões deformações máximas, módulos de resiliência e de tenacidade.	133
Tabela 25: dados e resultados do ensaio de absorção da resina de epóxi.	134
Tabela 26: dados e resultados do ensaio de absorção da resina de epóxi.	136
Tabela 27: dados e resultados do estudo para determinação das áreas médias da seção da armadura têxtil	137
Tabela 28: informações apuradas durante os ensaios de tração direta na armadura têxtil.	138
Tabela 29: Resultados das tensões, das deformações médias máximas, resiliência e tenacidade da armadura têxtil	140
Tabela 30: Relação dos materiais componentes das pastas	141
Tabela 31: pontos de saturação e diâmetros médios dos espalhamentos máximo.	143
Tabela 32: informações extraídas dos procedimentos de empacotamento binário (D_p+D_e)	143
Tabela 33: informações extraídas dos procedimentos de refinamento do empacotamento binário (D_p+D_e)	144
Tabela 34: informações extraídas dos procedimentos do empacotamento ternário ($D_p+D_e+D_f$)	145
Tabela 35: resultados da dosagem experimental.	149
Tabela 36: Dados e resultados, extraídos do relatório dos ensaios de compressão dos CPs do traço inferior	150
Tabela 37: Dados e resultados, extraídos do relatório dos ensaios de compressão dos CPs do traço intermediário	152
Tabela 38: Dados e resultados, extraídos do relatório dos ensaios de compressão dos CPs do traço superior	153

Tabela 39: Relação das informações extraídas do relatório dos ensaios de tração na flexão.	154
Tabela 40: Valores médios das (\square_{max}), E_f , (ϵ_l), (U_{rf}), (U_{if}) e (CV) referentes aos ensaios de tração na flexão.	158
Tabela 41: massas secas, saturadas e imersas e resultados das propriedades físicas.....	160
Tabela 42: Massas dos corpos-de-prova e cálculos das massas de água dos ensaios de impermeabilidade.....	161

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	18
1.1	INTRODUÇÃO.....	18
1.2	OBJETIVOS.....	21
1.3	Objetivo Geral	21
1.3.1	Objetivos Específicos	21
1.4	JUSTIFICATIVA.....	22
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	24
2	CAPÍTULO - REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1	LITERATURAS CONSULTADAS.....	25
2.1.1	Tecnologias de formas.....	25
2.1.1.1	Forma colaborante de aço steel deck	26
2.1.2	Materiais compósitos.....	27
2.1.2.1	Matriz cimentícia de compósitos	27
2.1.2.1.1	Fase contínua de matriz cimentícia.....	28
2.1.2.1.2	Fase da zona de transição interfacial (ZTI) da matriz cimentícia.....	29
2.1.2.1.3	Fase dispersa da matriz cimentícia.....	31
2.1.3	Métodos de dosagem experimental.....	33
2.1.3.1	Método para obtenção da composição da pasta	34
2.1.3.2	Método de empacotamento de partículas.....	36
2.1.3.3	Estudo sobre concreto autoadensável (CAA).....	38
2.1.3.4	Estudos sobre concreto de alta resistência (CAR).....	39
2.1.3.5	Estudos sobre concreto de alto desempenho (CAD).....	39
2.1.4	Tecnologia das armaduras	41
2.1.4.1	Estudos sobre reforço com fibras naturais	43
2.1.4.2	Estudos sobre tecido de juta e malva	45
2.1.4.3	Estudos sobre tratamentos de tecido de juta.....	48
3	CAPÍTULO - MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1	MATERIAIS	53
3.1.1	Cimento Portland.....	53
3.1.2	Agregados.....	53
3.1.2.1	Sílica Ativa.....	53
3.1.2.2	Pó de brita.....	54
3.1.3	Aditivos	54
3.1.3.1	Água para Amassamento	54
3.1.3.2	Superplastificante	55

3.1.4	Armadura têxtil.....	55
3.1.4.1	Tecido de Juta.....	55
3.1.4.2	Resina de Epóxi.....	56
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	57
3.2.1	Composição química dos materiais.....	57
3.2.2	Estrutura cristalina dos materiais	58
3.2.3	Composição granulométrica dos materiais	59
3.2.3.1	Granulometria método de difração a Laser.	59
3.2.4	Caracterização do Pó de brita	60
3.2.5	Caracterização do Cimento.....	61
3.2.6	Caracterização da Sílica Ativa	62
3.2.7	Caracterização do Tecido de Juta	62
3.2.7.1	Ensaio de tração direta no tecido de juta.....	63
3.2.7.2	Determinação da área média da seção do tecido de juta:	64
3.2.7.3	Determinação das Propriedades mecânicas do tecido de juta.....	65
3.3	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	67
3.3.1	Produção de partículas.....	67
3.3.1.1	Procedimento de moagem.....	69
3.3.1.2	Procedimento de peneiramento	70
3.3.2	Desenvolvimento da armadura têxtil	71
3.3.2.1	Dispositivo de Fixação.	71
3.3.2.2	Procedimento para Fixação.....	72
3.3.2.3	Procedimento de pré-tração.	73
3.3.2.4	Procedimento de Impregnação.....	73
3.3.2.5	Ensaio na armadura têxtil.	76
3.3.2.5.1	Ensaio de absorção da resina de epóxi.	76
3.3.2.5.2	Ensaio de permeabilidade da armadura têxtil.	78
3.3.2.5.3	Ensaio de tração direta na armadura têxtil.	81
3.3.2.5.4	Determinação da área média da seção da armadura têxtil:	84
3.3.3	Desenvolvimento da Matriz Cimentícia.....	85
3.3.3.1	Composição da Pasta	85
3.3.3.2	Determinação do Esqueleto Granular	88
3.3.3.2.1	Definição das Faixas Granulométricas.....	88
3.3.3.2.2	Procedimentos de Empacotamento	91
3.3.3.3	Procedimentos da Dosagem Experimental.....	94
3.3.3.4	Determinação do Traço Definitivo	96
3.3.3.5	Ensaio na Matriz Cimentícia	97

3.3.3.6	Ensaio no Estado Fresco	97
3.3.3.7	Ensaio no Estado Endurecido	99
3.3.3.7.1	Produção e Ensaio de corpo-de-prova	99
3.3.3.7.2	Resistencia característica (f_{ck})	102
3.3.3.7.3	Módulo de Elasticidade	102
3.3.4	Desenvolvimento de Placas nervuradas da forma colaborante cimentícia	103
3.3.4.1	Montagem do sistema de forma das placas nervuradas	104
3.3.4.2	Produção de placas nervuradas	106
3.3.4.2.1	Preparo da argamassa e moldagem de placas nervuradas.	106
3.3.4.2.2	Procedimentos de desforma da placa nervurada	108
3.3.4.3	Procedimentos de cura das placas nervuradas	108
3.3.4.4	Propriedades mecânicas e físicas das placas nervuradas	109
3.3.4.4.1	Ensaio de Flexão.	109
3.3.4.4.2	Ensaio físico da placa nervurada	114
3.3.4.4.2.1	Ensaio da densidade aparentes	115
3.3.4.4.2.2	Ensaio da absorção de água	116
3.3.4.4.2.3	Determinação do índice de vazios	116
3.3.4.4.2.4	Determinação da massa específica seca	117
3.3.4.4.2.5	Determinação da massa específica saturada	117
3.3.4.4.2.6	Ensaio de impermeabilidade da placa nervurada	118
3.3.4.4.2.7	Microscopia ótica - aspectos da microestrutura da matriz cimentícia	120
4	CAPÍTULO - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	121
4.1	RESULTADO DA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	121
4.1.1	Resultados das composições químicas dos materiais	121
4.1.2	Resultados das estruturas cristalinas dos materiais	122
4.1.3	Resultados da Composição Granulométrica dos Materiais	125
4.1.4	Resultado das Áreas das superfícies específicas	127
4.1.5	Resultados da caracterização do Pó de Brita	127
4.1.5.1	Resultado de material pulverulento	127
4.1.5.2	Resultado do Teor de impureza	128
4.1.6	Resultados da caracterização do cimento	128
4.1.6.1	Resultado da determinação da consistência da pasta normal	128
4.1.6.2	Resultado do Tempo de pega do cimento	129
4.1.6.3	Resultado da Determinação da finura do cimento	129
4.1.6.4	Resultados da expansividade e das resistências a compressão	130
4.1.7	Resultados da caracterização das propriedades mecânicas do tecido de juta	130
4.1.7.1	Resultado do Ensaio de tração direta no tecido de juta	130

4.1.7.2	Resultado da área média da seção do tecido de juta.....	131
4.1.7.3	Resultado das propriedades mecânicas do tecido de juta	132
4.2	RESULTADO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	134
4.2.1	Análise dos resultados dos ensaios do desenvolvimento da armadura têxtil.	134
4.2.1.1	Resultados dos Ensaio de absorção da resina de epóxi.	134
4.2.1.2	Resultados dos Ensaio de permeabilidade da armadura têxtil.	136
4.2.1.3	Resultados dos ensaio de tração direta na armadura têxtil.	137
4.2.2	Análise dos resultados dos ensaios do desenvolvimento da matriz cimentícia.....	141
4.2.2.1	Resultados dos ensaios do ponto de saturação do superplastificante	141
4.2.2.2	Resultados dos procedimentos de empacotamento	143
4.2.2.3	Resultados da otimização da dosagem experimental	145
4.2.2.4	Resultados dos Ensaio no Estado Fresco.....	147
4.2.2.5	Resultados dos Ensaio no Estado Endurecido	150
4.2.3	Análise dos resultados dos ensaios do desenvolvimento da placa.....	153
4.2.3.1	Resultados da tração na flexão em quatro pontos	154
4.2.3.2	Resultados dos ensaios físicos da placa nervurada.....	159
4.2.3.2.1	Resultados da densidade, absorção, índice de vazios e massas específicas	159
4.2.3.2.2	Resultados dos ensaios de impermeabilidade	160
4.2.3.2.3	Análises de microscopia ótica digital.....	162
5	CAPÍTULO - CONCLUSÕES.....	164
5.1	CONCLUSÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ARMADURA TEXTIL	164
5.2	CONCLUSÃO DO DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ CIMENTICIA	164
5.3	CONCLUSÃO DO DESENVOLVIMENTO DA PLACA NERVURADA	165
5.4	SUGESTOES PARA FUTUROS TRABALHOS	166
5.4.1	Aprimoramento da matriz cimentícia	166
5.4.2	Aprimoramento da armadura têxtil	166
5.4.3	Aprimoramento da placa nervurada cimentícia.....	167
	REFERENCIA	168
	ANEXOS.....	177

1 CAPÍTULO - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, as formas utilizadas em estruturas de concreto, são de madeira de segunda classe, que podem ser reutilizadas até três vezes, desde que, seja garantida durante a montagem, a qualidade do formato geométrico dos elementos estruturais. A maioria das não conformidades dos elementos estruturais, são decorrentes da condição de fornecimento e do estado de conservação da madeira, nos canteiros de obra. Madeiras que não passam, por processo de tratamento e de secagem controlada, empenam, contraem, pegam fungos e apodrecem, mesmo antes de serem usadas.

A problemática que envolve, o uso da madeira na construção civil, como por exemplo a de impactos ambientais, devido a desmatamentos e suas consequências, desencadeou o desenvolvimento de novas tecnologias, para aumentar a sua reutilização e reduzir o seu uso nos canteiros de obra. Nesse viés, são empregados chapas de madeiras compensadas, que podem ser resinadas ou plastificadas e que propõem até 12 e 20 reutilizações respectivamente.

Tecnologias com alto custo, utilizam formas de chapa de ferro principalmente em projetos de obras racionalizadas, que empregam elementos estruturais pré-fabricados, inacessíveis as obras de pequenos e de médio porte.

Em lajes nervuradas, com moldagem *in loco*, para alcançar grandes vãos, são empregadas formas de cubetas plásticas reutilizáveis, com cimbramento de aço, sendo a disponibilidade a sua maior desvantagem.

Também voltado para as lajes, as formas colaborantes tipo *steel deck*, estão sendo largamente empregadas em obras com estrutura mista, devido a velocidade de execução, porque não precisam de cimbramento e pelo envolvimento de pouca mão de obra.

A exemplo do que foi exposto nos parágrafos anteriores, este trabalho visa da mesma forma, propor a redução do uso de madeira nos canteiros de obras, com o emprego de uma forma colaborante cimentícia, que poderá ser produzida sob medidas, ou seja, de acordo com um projeto estrutural, fora do canteiro de obra, portanto, pré-fabricada por empresas especializadas, mesmo antes da implantação da obra.

A Figura 1, apresenta em detalhes, a configuração de um painel cimentício da forma colaborante e a sequência de montagem de um pilar de concreto armado, utilizando esses tipo painéis pré-fabricados.

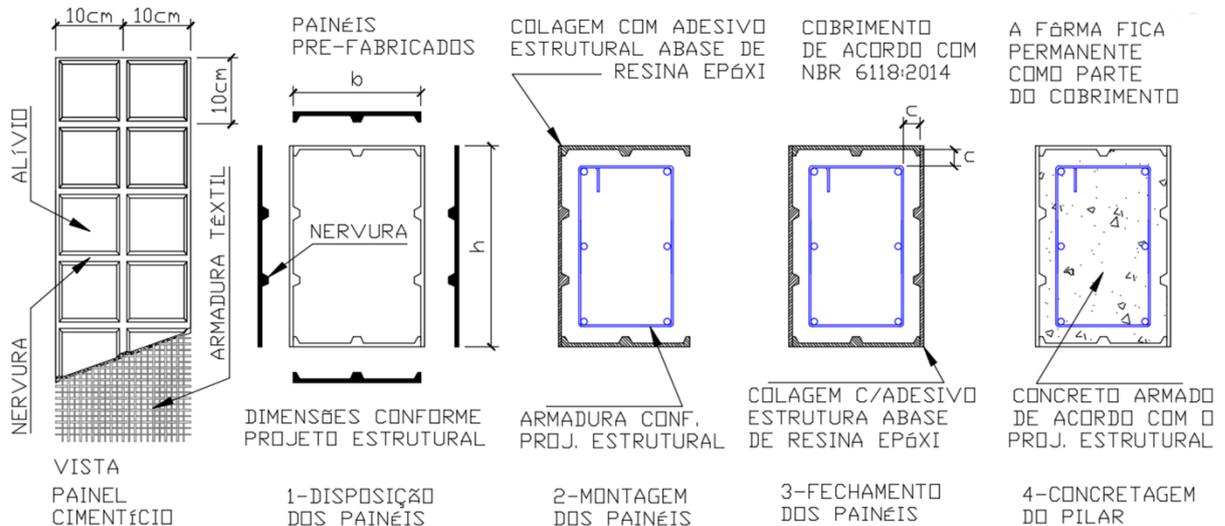


Figura 1: configuração e montagem de painéis cimentícios de forma colaborante.

Fonte: autor.

Conforme pode ser observado na Figura 1, a forma colaborante cimentícia, é um painel pré-fabricado de fina espessura, que tem uma face plana com acabamento liso, correspondente a parte externa dos elementos estruturais. A parte interna, contém nervuras nos dois sentidos a cada 10 cm. Essas nervuras foram projetadas para aliviar o peso do concreto dos painéis, aumentar a inércia de suas seções e para atuarem como elementos de ancoragem, proporcionando uma maior aderência entre o concreto estrutural e o painel.

A montagem, da forma colaborante, é equivalente as das formas de madeira, sendo que, ao invés de serem fixadas com pregos, são utilizados adesivos estruturais, a base de resina epóxi. Assim, como as formas de madeira, as formas colaborantes possibilitam o encaixe das armaduras de aço, no interior dos elementos estruturais, durante a sua montagem. E para garantir que não ocorram vazamentos do concreto estrutural, quando do seu lançamento, podem ser colocadas gravatas, para garantir o fechamento e cimbramentos metálicos como suportes de apoio, para evitar deslocamentos.

Durante a concretagem, o concreto fresco se aloja nos espaços de alívio dos painéis da forma colaborante, fazendo com que, as nervuras penetrem no concreto, promovendo uma maior superfície de contato. Nesse momento do processo de moldagem, a forma colaborante, na condição de molde, resiste as ações das tensões hidrostáticas, exercidas pelo peso do concreto, no estado fresco.

Quando o concreto estrutural, se encontra no estado endurecido, a forma colaborante perde a finalidade de molde, se incorpora ao elemento estrutural, impossibilitando a sua desmoldagem. Nessa condição, a forma colaborante fica fazendo parte permanentemente do cobrimento do elemento estrutural.

A forma colaborante, também atribuído ao elemento estrutural, maior durabilidade, por que, são produzidas com um compósito constituído de uma fase contínua de matriz cimentícia com as características combinadas das argamassas de concreto autoadensável (CAA) e das argamassas de concreto de alta resistência (CAR). Esses tipos de argamassas são extremamente densas, de baixa absorção e de pouca permeabilidade.

A outra fase, que corresponde ao reforço do compósito da forma colaborante, é constituída de uma armadura têxtil, composta de tecido de juta com malha aberta, impregnado com resina epóxi. Essas armaduras, são dispostas na zona de tração dos painéis das formas colaborantes, para se interporem as ações das forças decorrentes do peso do concreto fresco, que tendem a provocar flexões nos painéis, conforme pode ser observado na Figura 2:.

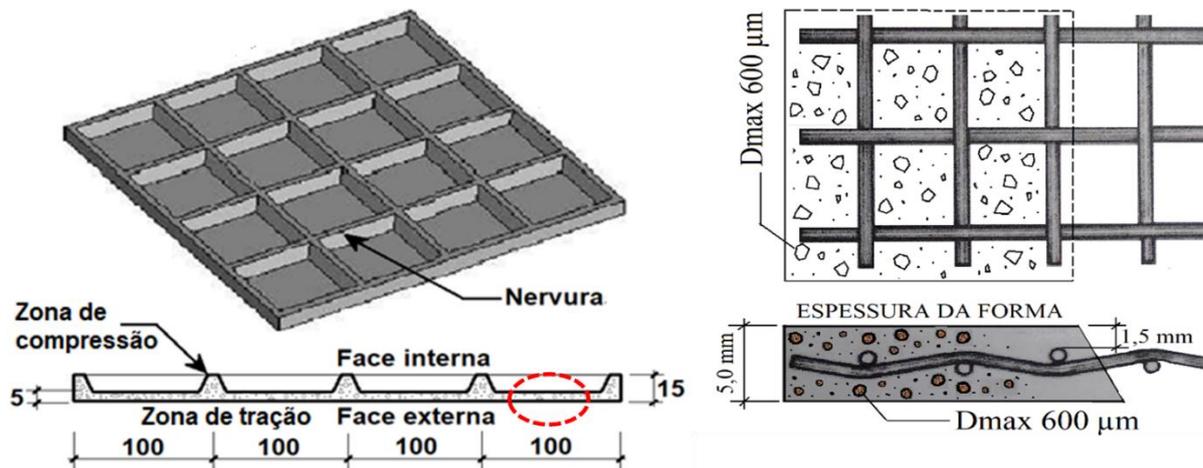


Figura 2: disposição da armadura têxtil na zona de tração do painel (medidas em mm).
Fonte: autor.

A impregnação do tecido de juta, tem duas finalidades, sendo uma, de revestir os cordões das tramas e dos urdumes, para que os mesmos sejam isolados e não sofram os efeitos de mineralização por parte dos elementos químicos do cimento, e a outra, é para efetuar a colagem entre as fibras dos referidos cordões, para aumentar suas resistências à tração.

Os materiais e métodos, os procedimentos experimentais, as caracterizações e os ensaios, empregados no desenvolvimento, das fases do compósito da forma colaborante cimentícia, na produção de placas e de corpos-de-prova, estão descritos na sequência deste trabalho, onde também são apresentados seus respectivos resultados.

1.2 OBJETIVOS

1.3 Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é desenvolver forma colaborante, produzida com matriz cimentícia reforçada com armadura de tecido de juta, impregnada com resina de epóxi.

1.3.1 *Objetivos Específicos*

- Caracterizar física e quimicamente os materiais das matrizes cimentícia e da armadura têxtil do compósito;
- Desenvolver matriz cimentícia com propriedades de argamassas de CAA e CAR;
- Desenvolver uma armadura têxtil com tecido de juta e resina epóxi para reforço do compósito;
- Produzir e avaliar física e mecanicamente placas cimentícias para forma colaborante.

1.4 JUSTIFICATIVA

Na construção civil, abrangendo os setores de extração, industrialização, comercialização e de produção, existe uma eterna busca por metodologias e ou por materiais que promovam menor custo, menor prazo de execução, redução nas perdas, baixo custo operacional e que também minimizem o impacto ao meio ambiente.

O objeto de estudo deste trabalho, que é uma forma colaborante, vem de encontro a essas premissas, pois trata-se de um material, que foi desenvolvido para ser utilizado na moldagem de elementos estruturais de concreto e tem entre seus constituintes a juta, que é um insumo de fonte renovável de baixo custo, a qual, é amplamente disponíveis no território nacional, sendo eleita a segunda fibra natural de celulose mais comum no mundo, especialmente nos últimos anos, em virtude de suas excelentes propriedades físicas, químicas e estruturais (ROMBALDO et al., 2014), portanto, é um insumo de fácil aquisição.

Afirmam Reis et al. (2012) “entre todos os reforços de fibras naturais, o mais promissor parece ser a juta, por ser relativamente barata, quando comparada à fibra de vidro, e comercialmente disponível na forma necessária”.

Uma justificativa de âmbito regional e de grande relevância para a Amazônia, é a possibilidade do emprego, do tecido de juta como componente do compósito da forma colaborante, que fomentará, mais uma possível vertente, de um processo de fabricação de sacos de estopilhas, que já existe a mais de 80 anos e que vem sustentando a cultura da juta e da malva, mantendo as duras penas, seus setores de plantio, coleta e tratamento de fibras (PAIVA, 2015), mas que, apesar de todo os percalços e mesmo estando as vezes a mercê da extinção, segundo Mamede (2014), ainda, asseguram um abastecimento regular às indústrias têxteis locais.

Todo esse potencial instalado já está disponível, o que, permitirá um fornecimento contínuo do tecido de juta, necessário para o compósito. As industriais têxteis instaladas em Manaus, são normatizadas, fornecem tecido dentro de uma especificação de mercado, com controle efetivo da resistência, da gramatura e da quantidade de fibrilas na seção do fio (cordão), tudo dentro de um padrão de qualidade necessário para o setor. Portanto, trata-se de um produto que poderá transferir com segurança características confiáveis e pouco variável ao compósito da forma colaborante.

Existe uma grande possibilidade com relação a aplicação da forma colaborante no mercado da construção civil, principalmente porque estabelecerá mudanças significativas no processo de execução de obras, provendo redução de prazos de entrega, devido a eliminação de

serviços e de etapas do processo construtivo. Essa melhoria, é uma inovação no processo de moldagem dos elementos estruturais de concreto, que por consequência, refletirão diretamente nos custos, reduzindo despesas com materiais, menos mão-de-obra e a dispensa do uso de equipamentos e utensílios nos canteiros de obra, para preparação e produção de formas.

As formas colaborantes cimentícias, poderão ser produzidas nos moldes industriais, ou seja, fora do canteiro de obra, a partir de projetos específicos, e por empresas especialistas, do mesmo modo, como hoje são fornecidos os elementos pré-fabricados de concreto armado, os aços das armaduras, já cortados e dobrados, e até mesmo como hoje são fornecidos os concretos usinados, através das concreteiras.

Seguindo os modelos de obras racionalizadas, os painéis de forma colaborante, poderão ser pré-fabricados e fornecidos sob medida para cada elemento do projeto de estrutura de concreto armado, sem geração de resíduos. A sua montagem no local da obra, obedecerá paginações e disposições numéricas estabelecidas em pranchas de desenhos exclusivos, podendo ser geradas a partir de programa de computador desenvolvido exclusivamente para esse fim.

Além do que foi exposto, a alternativa para a utilização de formas colaborantes em substituição as formas tradicionais de madeira, implicará em mitigações de impactos ambientais, com a diminuição do emprego da madeira nas obras, atendendo com isso uma das principais premissas do setor da construção civil, que é, um insumo ecologicamente correto, com sustentabilidade.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação foi estruturada em capítulos, conforme estão elencados a seguir, com a finalidade de favorecer uma melhor compreensão do propósito desta pesquisa:

- **CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS** - trata a introdução, os objetivos a justificativa, e a estrutura da dissertação;
- **CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO** - apresenta uma revisão literária relacionada com o tema, que propiciou o embasamento e a fundamentação teórica necessárias, a adoção dos materiais e das metodologias aplicadas nesta pesquisa;
- **CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS** - descreve os materiais e a metodologia aplicada no desenvolvimento do compósito e nos ensaios de caracterização dos materiais constituintes;
- **CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS** – apresenta os resultados dos ensaios e análises das caracterizações dos materiais de insumo e também as análises e resultados, dos procedimentos experimentais de desenvolvimento da pesquisa;
- **CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO** – apresenta a conclusão e as recomendações para futuros trabalhos.
- **REFERENCIAS** - apresenta as bibliografias que serviram de embasamento para a consolidação desta dissertação.
- **ANEXOS** - relação de relatórios, laudos tabelas e especificações utilizados na pesquisa.

2 CAPÍTULO - REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados nos itens subsequentes, uma revisão bibliográfica, relativa as obras de autores e pesquisa exploratória, relacionadas com o tema, que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, e promoveram o embasamento e a fundamentação teórica necessários para a adoção dos materiais e das metodologias aplicadas nos experimentos do compósito da forma colaborante cimentícia.

2.1 LITERATURAS CONSULTADAS

No ramo da construção civil, muitos esforços tem sido feito, para eliminar ou reduzir o uso de madeira nos canteiros de obra, são medidas com a finalidade de diminuir a pressão sobre os recursos naturais, que segundo Di Mauro (2013), em sua pesquisa - Madeira na construção civil: da ilegalidade à certificação - concluiu que “somente ações conjuntas com os demais setores da sociedade civil podem mitigar seus efeitos danosos”.

Nesse sentido, o desenvolvimento tecnológico seguiu na direção da industrialização e da construção racionalizada, fornecendo novos produtos, voltados a “redução de custo, menor tempo de obra, menos geração de resíduos e maior economia no uso de recursos naturais”, o que vem ao encontro dos modernos princípios da sustentabilidade”, (THOMAZ, 2012).

2.1.1 *Tecnologias de formas*

Conceitualmente, as formas são moldes provisórios, empregados na construção civil em estruturas de concreto, que segundo Assahi (2007) “servem para dar ao concreto fresco a geometria e textura desejada”. Corresponde a uma das etapas de construção, denominadas de sistemas de formas, que após o concreto alcançar a resistência necessária, são desmontadas.

Nas construções, a etapa do sistema de forma, tradicionalmente consome muita madeira, e devido a esse fato, os estudos foram voltados para essa problemática. No entanto, os avanços tecnológicos foram específicos para as lajes, com a utilização de materiais alternativos, pré-moldados de produção *in loco*, como por exemplo, as lajes pré-moldadas que empregam vigotas

de concreto com reforço de barras de aço, ou com vigotas treliçadas, com enchimento de isopor, ou cerâmico, que reduziram significativamente o uso da madeira no canteiro de obra.

Outras tecnologias de grande aceitação, surgiram no mercado, para atender as construções de grande porte, sendo as principais, as lajes nervuradas bidirecionais, que utilizam formas plásticas reutilizáveis (ABREU; BARRETO, 2012), as lajes alveolares, pré-fabricadas em concreto protendido (FRANÇA, 2012) e as lajes mistas que utilizam forma metálica colaborante tipo *steel deck* (SIEG, 2015), que dispensam totalmente a madeira dos processo de construção. Entre as tecnologias apresentadas, a que mais se assemelha com a deste trabalho, mas tão somente, quanto a funcionalidade, é a da *steel deck*.

2.1.1.1 Forma colaborante de aço *steel deck*

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, publicou a primeira norma para *steel deck* que entrou em vigor em 27 de novembro de 2015, a NBR 16421 (2015) - Telha-Forma de Aço Colaborante para Laje Mista de Aço e Concreto - Requisitos e Ensaios, normativa. Segundo a norma, esse sistema de laje, é formado por chapas de aço perfiladas, com a aparência de telha trapezoidal, que possuem dupla função, ou seja, servem como forma durante a moldagem das lajes e como armadura positiva, depois, no estado endurecido do concreto.

Uma outra função durante a montagem das lajes de acordo o fabricante Metform (2016), “as chapas por serem autoportante, também servem de plataforma de serviço e de proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores, propiciando maior segurança”. A Figura 3, ilustra os detalhes construtivos da tecnologia de laje com forma colaborante *steel deck*.

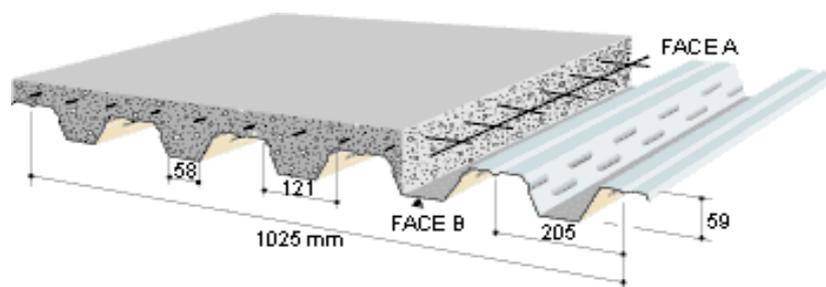


Figura 3: Ilustração de laje mista *steel deck*.
Fonte: Arcelor Mittal Perfilor (2016).

Basicamente a laje *steel deck* é composta por telhas-forma, armaduras de telas de aço, camada concreto estrutural e de conectores de cisalhamento tipo *stud bolts*, para fixação das

chapas na estrutura. Uma grande vantagem dessa tecnologia, é a velocidade de produção, que possibilita a eliminação parcial ou total de escoras durante a concretagem, o que favorece a realização simultânea da construção em diferentes pavimentos.

2.1.2 Materiais compósitos

Os compósitos na atualidade, são objetos de pesquisas de muitos artigos científicos, principalmente no campo da construção civil, no que se refere a evolução de matrizes cimentícias, para utilização em elementos estruturais de concreto. Outro objetivo das pesquisas, nesse campo, é a busca de melhorias do desempenho de concretos com a utilização de fibras naturais como reforço, devido a leveza e o baixo custo.

Conforme conceituam Callister; Rethwisch (2012), “De uma maneira geral, pode-se considerar um compósito como sendo qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades”.

2.1.2.1 Matriz cimentícia de compósitos

A matriz cimentícia é uma das fases de um composto, identificada como contínua, porque envolve uma outra fase, chamada frequentemente de fase dispersa (CALLISTER; RETHWISCH, 2012). Na Figura 4, pode-se observar a fase dispersa apresentando os agregados, com suas formas e tamanhos variados e o meio ligante que é a fase contínua, consistindo de uma massa de pasta de cimento hidratada (MEHTA; MONTEIRO, 1994); (CUSTÓDIO, 2015).



Figura 4: macro estrutura de um concreto.
Fonte: (CUSTÓDIO, 2015).

Especificamente, com relação a microestrutura da pasta hidratada de cimento, observa-se na imagem (a) da Figura 5, que essa fase não é homogênea como aparenta ser a olho nu, pois desvenda mais uma fase entre o agregado e a pasta de cimento, denominada Zona de Transição na Interface (ZTI) (MEHTA; MONTEIRO, 1994); (FREITAS JR., 2014). Imagem (b).

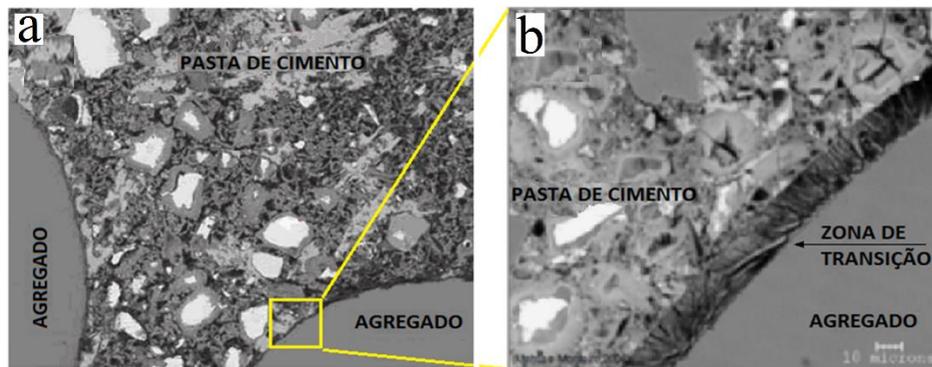


Figura 5: micro estrutura de um concreto e zona de transição na interfase.
Fonte: adaptado de (FREITAS JR., 2014).

Essas três fases da matriz cimentícia, são muito complexas e dinâmicas, de acordo com o tempo de hidratação vão sofrendo modificações, por isso, seu entendimento é muito importante, principalmente, por serem responsáveis pelas propriedades desejáveis de um concreto, e por esse motivo, muitos trabalhos de pesquisa já foram feitos ao longo dos anos, destinados ao estudo do seu desempenho no estado fresco e no estado endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 1994); (FREITAS JR., 2014); (CUSTÓDIO, 2015).

2.1.2.1.1 Fase contínua de matriz cimentícia

Simplificadamente, a fase contínua é um material sólido formado por uma pasta cimentícia endurecida, devido reação química da mistura de cimento com água, contendo elementos químicos hidratados e não hidratados, poros com ar aprisionados e com retenções de resíduos de líquidos decorrentes da água e dos aditivos, utilizados na mistura da pasta de cimento.

Uma descrição, explicando os estágios de hidratação do cimento, a partir do seu contato com a água, a dissolução rápida dos grãos do cimento, para a formação da pasta, a barreira que a pasta forma, em torno dos grãos de cimento não hidratados, e todo um processo que permite um período de trabalhabilidade, para que, o concreto possa ser lançado e assentado. estão detalhados no artigo de (FREITAS JR., 2013). O autor também descreve a geração de gel de

C-S-H e etringita, e o intertravamento das partículas que promovem a pega e o endurecimento, conforme mostra a Figura 6.

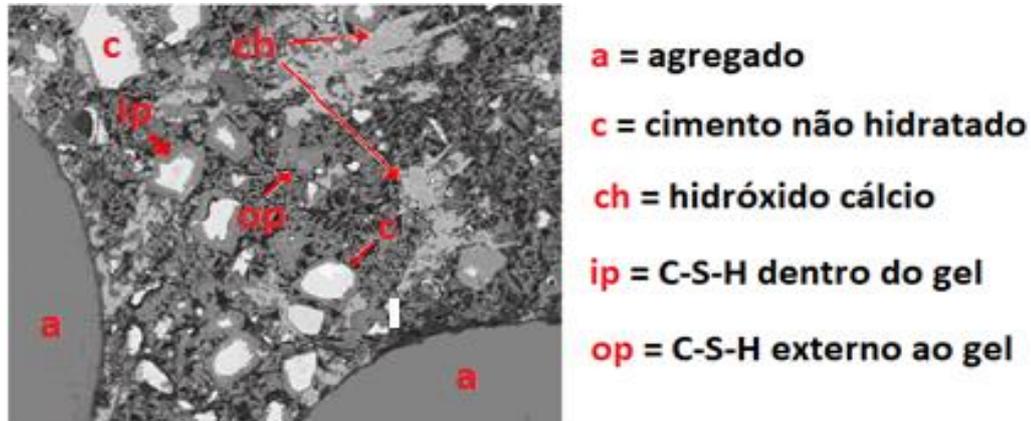


Figura 6: micro estrutura de um concreto após hidratação do cimento.
 Fonte: adaptado de (FREITAS JR., 2014).

As estruturas internas, formadas pelo processo de hidratação dos elementos químicos do cimento na fase contínua, é de grande importância para a determinação das propriedades que um concreto, tais como: resistência, elasticidade, retração, fluência, fissuração e durabilidade. Principalmente, porque a estrutura interna pode ser modificada por mudanças na estrutura do material que a compõe (MEHTA; MONTEIRO, 1994); (FREITAS JR., 2014).

2.1.2.1.2 Fase da zona de transição interfacial (ZTI) da matriz cimentícia

É uma zona microscópica da estrutura interna do concreto, compreendida entre a fase contínua da pasta cimentícia e a fase dispersa dos agregados da matriz, sendo uma região muito fina medindo aproximadamente entre 30 a 50 μm (MAGALHÃES, 2007).

A ZTI, é formada a partir da hidratação dos componentes do cimento na pasta da fase contínua, portanto, constituída dos mesmos materiais e respectivos teores da fase contínua, porém, apresenta propriedades diferentes e um comportamento estrutural inferior, porque contém em média, mais poros e hidróxido de cálcio e menos partículas de cimento do que nas regiões da pasta da fase contínua (METHA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Wong et al. (2009), as microfissuras geralmente iniciam e se propagam preferencialmente na ZTI. Por isso, é considerada a fase menos resistente do concreto. A Figura 7, mostra essas ocorrências.

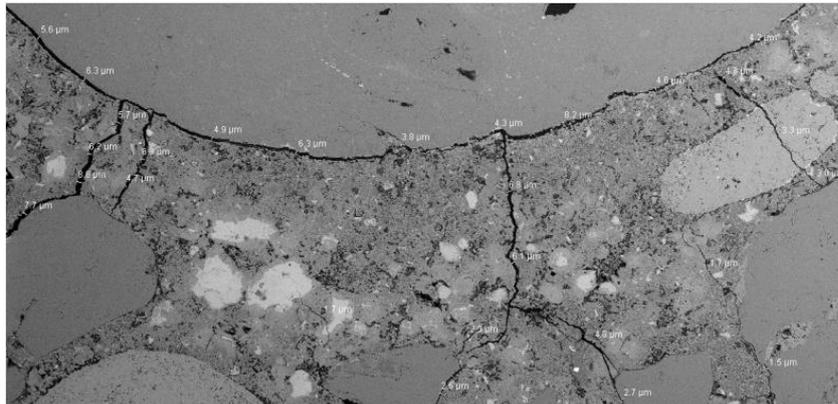


Figura 7: microfissuras na ZTI.
Fonte: (WONG *et al.*, 2009).

Metha; Monteiro (2008) justificam porque na mesma pasta cimentícia de um concreto sólido, apresentam diferenças entre os elementos do cimento que foram hidratados na fase da ZTI, com relação aos mesmos tipos de elementos hidratados na fase contínua. Segundo os autores o que mais contribui para essa diferença, é o aumento da relação água/cimento, que é alterada pela formação de um filme de água na superfície dos agregados graúdos, decorridos da água de emassamento.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi o método que Thomaz (2001), utilizou, para verificar essa alteração no interior da pasta cimentícia no estado sólido, precisamente na ZTI, entre o agregado e a matriz. A micrografia da Figura 8, mostra a formação de grandes cristais de Portlandita na ZTI e cristais bem menores na pasta hidratada.

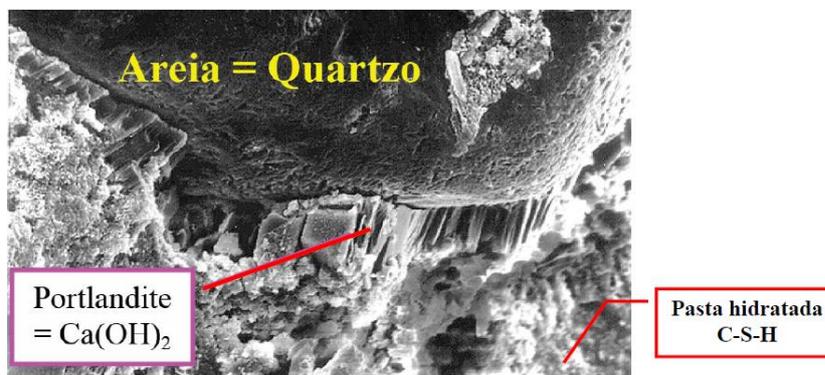


Figura 8: micrografia da ZTI.
Fonte: (THOMAZ, 2001).

Em um estudo voltado especialmente para a caracterização das ZTIs, Tragardh (1999), fez uma análise comparativa das microestruturas de um concreto autoadensável (CAA) e de um

concreto comum convencional (CCC), mostrando as diferenças encontradas em suas estruturas, e distribuição das fases, conforme a micrografias da Figura 9.

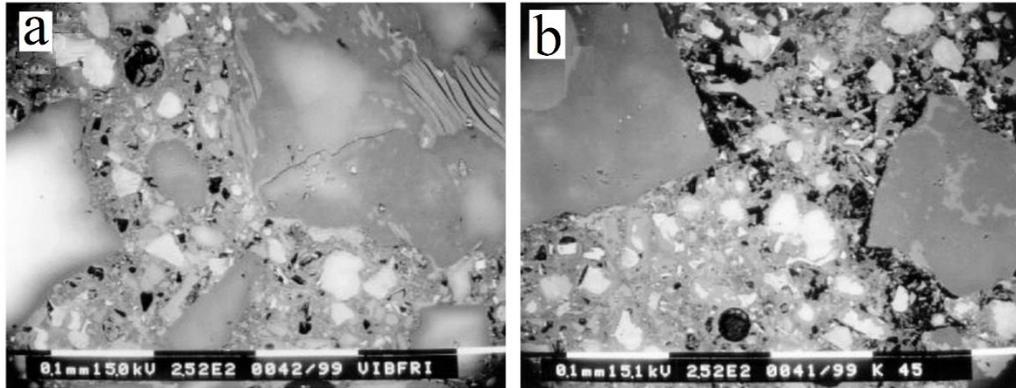


Figura 9: micrografias das ZTIs do concreto CAA (a) e do concreto CCC (b).
Fonte: (TRAGARDH, 1999)

Como pode ser observado, as diferenças entre as duas ZTIs são bem acentuadas, por exemplo, no concreto CCC, mostrada na imagem (b) da Figura 9, apresenta uma maior concentração de poros vazios (pontos escuros) junto aos agregados (objetos grandes cinzentos e angulares) e em ambos os concreto, aparecem grãos de cimento não hidratados (pontos esbranquiçados). Nesse estudo o autor, obteve essa diferença, promovendo um maior preenchimento da ZTI do CAA, mostrada na imagem (a), com a utilização de micros partículas de calcário (1 e 200 μm), na sua composição.

2.1.2.1.3 Fase dispersa da matriz cimentícia

A fase dispersa corresponde aos agregados, que aparecem em um concreto envolvidos pela fase contínua da matriz cimentícia, com tamanhos diferentes e formas irregulares sejam eles grãos, miúdos, finos e ultrafinos. Segundo Mehta; Monteiro (1994), essa fase “é a principal responsável pela massa unitária, pelo módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional do concreto”. Os autores ressaltam que as características físicas dos agregados como a porosidade, forma e textura, determinam a sua densidade e resistência, fato esse, que influenciam mais nas propriedades do concreto, do que as suas características químicas.

A variedade de agregados empregados nas construções de concreto armado é muito grande e depende da disponibilidade de materiais nas proximidades da obra. Os agregados podem ser naturais como a areia lavada e o seixo rolado, extraídos respectivamente das praias

e dos leitos dos rios. No entanto, os agregados mais comuns são as areias e as britas, que são processadas por desmonte de rochas, posteriormente britados e peneirados, mas também existem os artificiais ou sintéticos e os reciclados. A Figura 10, mostra a variedade de agregados.



Figura 10: diversos tipos e tamanhos de agregados
Fonte: (SELKE, 2017).

Tradicionalmente os agregados são tidos como materiais inertes, mas segundo Mehta & Monteiro (1994), esse ponto de vista está sendo seriamente questionado, devido a pesquisas e estudos que possibilitaram uma maior compreensão do real papel que desempenham os agregados no concreto.

Em condições normais para o preparo de um concreto comum, os agregados devem estar dentro da faixa normal de distribuição de tamanho de partículas e não serem quimicamente reativos aos componentes do cimento, sem produzir reações do tipo álcalis-agregado ou álcalis-carbonato (WU; MINDESS, 2006). Segundo aqueles autores, mesmos os agregados que não se enquadram dentro dos limites especificados, podem ser usados, na produção de um concreto satisfatório, com o emprego de aditivos modificadores tipo químico e mineral.

Um material utilizado para densificar a fase contínua, é a sílica ativa, que segundo o fabricante Tecnosil (2018), trata-se de “um pó fino pulverizado obtido do processo de fabricação do silício metálico ou ferro silício. Portanto, é um produto de origem metalúrgica, o que lhe confere maior estabilidade quanto a sua composição química e física”. No mesmo catálogo, estão relacionadas conforme a seguir, as vantagens da utilização desse produto no concreto:

- Melhora o desempenho inibindo agressões químicas, penetração íons cloreto, RAA;
- Proporciona baixa permeabilidade, porosidade, absorção;

- Aumenta a resistência mecânica;
- Melhora aderência entre a pasta/armaduras e a pasta/agregados;
- Atribui alta resistência a ambientes agressivos;
- Possibilita uma maior espessura de aplicação no concreto projetado;
- Aumenta a coesão;
- Diminui a exsudação;
- Melhora desempenho a abrasão e erosão (TECNOSIL, 2018).

As imagens (a) e (b) da Figura 11, mostram os aspectos da ZTI entre agregado e aglomerante, correspondentes a dois concretos, sendo um sem adição e o outro com adição de sílica ativa.

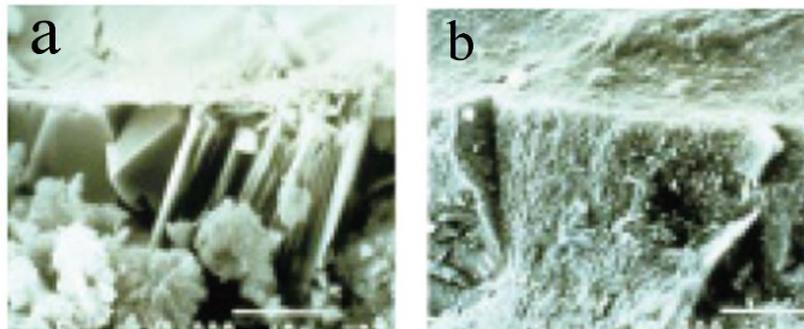


Figura 11: aspectos da ZTI; sem adição de sílica ativa (a); com adição de sílica ativa (b).
Fonte: (TECNOSIL, 2018).

Observa-se nas duas imagens muita diferença entre os concretos, sendo a de melhor conformidade, a do concreto com adição de sílica ativa da imagem (b). Essa foi uma das razões, pela qual, a sílica ativa foi adotada como um dos constituintes na matriz cimentícia deste trabalho. A matriz cimentícia fica mais compacta, na ZTI, devido a função aglomerante da sílica ativa quando reage com os hidróxidos de cálcio do cimento e também devido ao seu efeito como *filler*, no enchimento dos micro poros reduzindo os micros e macros defeitos.

2.1.3 Métodos de dosagem experimental

A dosagem experimental, busca a melhor proporção entre os componentes do concreto ou argamassa, no sentido de se obter no estado fresco, a trabalhabilidade necessária e no estado endurecido, as propriedades mecânicas e físicas desejadas.

Helene; Terzian (1992) produziram um manual de dosagem e controle do concreto a base de cimento Portland, onde é apresentado um roteiro, que aborda desde a caracterização dos materiais componentes do concreto, o esqueleto granular, o desenvolvimento da pasta, a resistência de dosagem e um diagrama de dosagem que relaciona resistências, relações água /cimento (a/c), traços de material seco e consumos de cimento Portland.

Freitas Jr. (2014) descreve o método IPT/EPUSP, ou seja, todo o processo para determinar as proporções adequadas dos componentes de um concreto, em conformidade com o manual de Helene & Terzian (1992)

Alencar (2008), aborda a nova metodologia de dosagem desenvolvida pela IBRACON, que consiste do aprimoramento dos estudos do método IPT/EPUSP e do manual de Helene; Terzian (1992), que hoje é denominado como método de dosagem IBRACON para concreto convencional.

O método de dosagem adotado neste trabalho, foi baseado nas metodologias expostas nos parágrafos a cima, seguindo no mesmo alinhamento da pesquisa de Piovezam; Meleiro; Isa (2006), que foi executada em três etapas: obtenção da composição da pasta, determinação do esqueleto granular (empacotamento) e otimização do conteúdo de pasta.

2.1.3.1 *Método para obtenção da composição da pasta*

A norma ASTM D6910-04 (2004), é usada para avaliar a viscosidade aparente de argila bentônica, para fins de controle de qualidade - Método de teste padrão, para medir viscosidades empregando o cone de *Marx*. Também, são empregadas para determinar o ponto de saturação de superplastificante em pasta cimentícia.

Para a etapa de composição da pasta, Manohar (2014) descreve todo o procedimento, os materiais, equipamentos utilizados, os parâmetros e como devem ser feitas as análises para determinar o ponto de saturação do superplastificante, por meio do ensaio do cone de *Marsh*, mostrado na Figura 12.

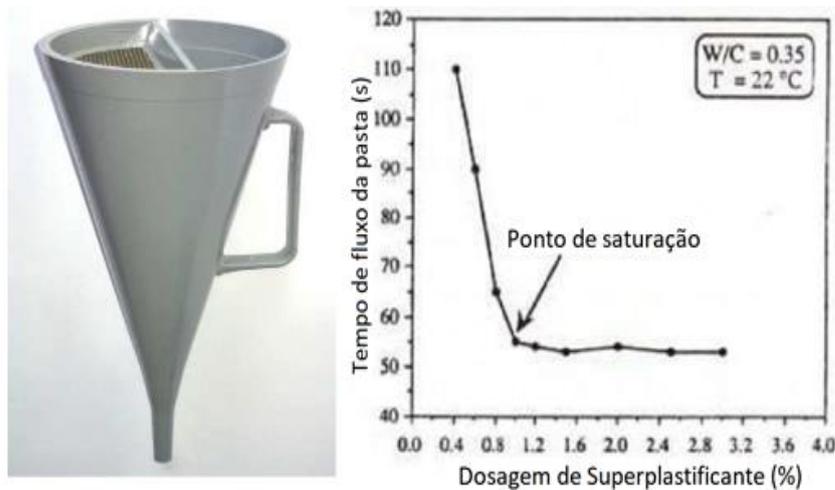


Figura 12: cone de Marsh e o gráfico do ponto de saturação.
Fonte: (MANOHAR, 2014).

Nos ensaios de reologia de pastas e de argamassas, também são empregados ensaios de *slump flow test*, utilizando para tanto, o mini cone de *kanthro*, assim como descrevem Figueiredo; Monte (2008), “As metodologias de ensaio em pastas de cimento, o mini-abatimento e o funil de Marsh, foram adequadas para indicar um teor de referência para a confecção de concretos com aditivos superplastificante”.

O emprego de superplastificante, é para promover trabalhabilidade com redução da água de emassamento, o controle do tempo de pega do cimento e para que a matriz cimentícia no estado fresco, adquira propriedades reológicas que assegurem alta fluidez e garantam a coesão e a viscosidade necessárias, que esses tipos de concreto exigem (BRASILEIRO et al., 2015).

O fabricante de superplastificante MC-Bauchemie (2018), descreve as suas propriedades e aplicações.

Propriedades:

- Grande redução na quantidade de água;
- Longa manutenção do *slump*;
- Rápida dispersão no concreto;
- Dosagens econômicas;
- Boa compatibilidade com incorporadores de ar;
- Boa estabilização em altas consistências;
- Bom funcionamento com uma grande variedade de cimento.

Áreas de aplicação:

- Ideal para concreto pré-moldado;
- Concreto autoadensável;
- Concreto de alta resistência a agentes agressivos;
- Concreto aparente;
- Concreto de alta fluidez;
- Concreto dosado na betoneira ou usinado, (MC-BAUCHEMIE, 2018).

Na composição da pasta, a sílica ativa também, é adicionada com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade com redução da relação água/cimento (a/c) e de alcançar um concreto de alta resistência, baixa porosidade e permeabilidade. O catálogo técnico da empresa TECNOSIL, recomenda teores entre 5 e 8% de sílica ativa, podendo chegar até 25%.

2.1.3.2 *Método de empacotamento de partículas*

Pesquisas voltadas aos concretos avançados, se direcionaram a densidade de empacotamento entre multipartículas, empregando misturas binárias, ternárias e de ordem superior (LARRARD *et al.*, 1986). De acordo com os autores, trata-se do método de empacotamento compressivo (MEC), que busca promover um esqueleto granular compacto com os agregados graúdos (dominantes) e um maior preenchimento dos vazios com partículas de agregados finos, que por sua vez é preenchido por fíleres, ou seja, por grãos ultrafinos.

Segundo Tutikian; Isaia; Helene (2011), “para densificar o concreto, é necessária a incorporação de partículas finas, às vezes menores do que o próprio cimento, o que confere ao CAD coesão e microestrutura densa”. Os autores ressaltam também, que as partículas finas mais utilizadas, são as adições minerais ou superpozolanas, como a sílica ativa, o metacaulim e a cinza de casca de arroz.

Dentro dessa mesma linha de pesquisa, Brown (1998), pesquisou sobre o efeito do aumento de densidade, com a redução do volume de vazios, devido à combinação de partículas com tamanhos diferentes. Essa pesquisa é demonstrada nos desenhos da Figura 13.

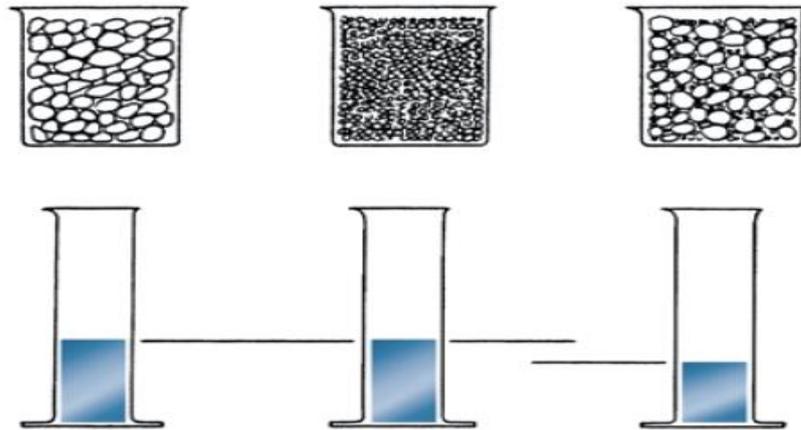


Figura 13: comparação do volume de vazios.
Fonte: (BROWN, 1998).

Na parte superior da Figura 13, o vasilhame da esquerda está preenchido com grandes partículas de agregado com tamanho e forma uniforme, o do meio está preenchido com um volume igual de pequenas partículas de agregado de tamanho e forma também uniforme, e o vasilhame da direita está preenchido com partículas de ambos os tamanhos. Abaixo de cada vasilhame, estão localizados três provetas graduadas indicando a quantidade de água necessária para preencher os vazios entre as partículas dos agregados.

Nota-se, que os vasilhames preenchidos com partículas de tamanhos de volumes iguais, apresentam conteúdo de vazios constante independentemente do tamanho da partícula. E o vasilhame a direita com agregados combinados, apresenta um menor volume de vazios.

Um estudo para obter, a melhor compacidade entre brita e areia, por meio de ensaios de empacotamento, utilizando a norma NBR NM 45 (2006), foi elaborado por Toralles-Carbonari *et al.* (2003). Na Tabela 1, a seguir, estão relacionados os valores das massas unitárias e dos volumes de vazios, obtidos em 10 (dez) misturas binárias no estudo.

Tabela 1: análise dos resultado dos ensaios de massa unitária, volume de vazios.

Brita / areia	Massa 1 (kg)	Massa 2 (kg)	Massa 3 (kg)	Massa média (kg)	Massa unitária média (kg/dm ³)	Massa específica (kg/dm ³)	Vazios (%)
100/0	8,544	8,44	8,44	8,475	1,695	2,89	41,352
90/10	9,594	9,3	9,39	9,428	1,886	2,859	34,047
80/20	9,994	10,29	10,39	10,225	2,045	2,829	27,715
70/30	10,79	10,64	10,79	10,740	2,148	2,8	23,286
60/40	10,99	10,7	10,9	10,863	2,173	2,77	21,564
58/42	10,84	10,9	10,99	10,910	2,182	2,765	21,085
56/44	10,8	10,8	10,8	10,800	2,160	2,7597	21,731
54/46	10,7	10,89	10,84	10,810	2,162	2,754	21,496
52/48	10,69	10,59	10,59	10,623	2,125	2,748	22,683
50/50	10,59	10,54	10,54	10,557	2,111	2,743	23,028

Fonte: adaptado de (TORALLES-CARBONARI *et al.*, 2003).

Na tabela observa-se que, a variação crescente dos ensaios, inicialmente foi de 10% e que na mistura binária de 50/50, a massa unitária foi menor e o índice de vazios foi maior do que na mistura de 60/40. Então, o autor no sentido de refinar os resultados entre essas duas misturas, fez mais ensaios com variação de 2%. O resultado está destacado em amarelo, com a mistura binária de 58/42, onde demonstra a maior massa unitária e o menor índice de vazios.

A norma NBR NM 45 (2006), prescreve três métodos para a determinação da massa unitária e do volume de vazios, sendo o “método A”, empregado para agregados com dimensões menores que 37,5 mm, o “método B”, empregado para agregados com dimensões maiores que 37,5 mm e menores que 75 mm, e o “método C”, empregado para determinar a massa unitária de material no estado solto. Neste trabalho utilizou-se o método “A”.

2.1.3.3 *Estudo sobre concreto autoadensável (CAA)*

Nunes; Isa (2007) definem que “o concreto autoadensável de alto desempenho (CAAD) é aquele que além de associar alta resistência mecânica e fluidez é capaz de adensar a custa do seu peso próprio”. O artigo dos autores trata do desenvolvimento de um CAAD para o que, deram ênfase na determinação da composição da pasta. A pasta do CAAD foi uma mistura de cimento, sílica ativa, metacaulim de alta reatividade, água e aditivo superplastificante.

Piovezam *et al.* (2006), explicam que os materiais utilizados no preparo do CAA, são os mesmo empregados tradicionalmente, tais como cimento, água, agregados, aditivo superplastificante e adições minerais, sendo que, na sua dosagem utilizam-se técnicas que diferem dos métodos tradicionais para outros tipos de concreto.

Murthy *et al.* (2012) fizeram pesquisas com argamassa cimentícia autoadensável, utilizando metacaulim e cinza volante para substituição parcial do cimento Portland, por meio de mistura binária e ternária para uma maior compactação. Com essa finalidade, empregaram doses de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de metacaulim, e de 10%, 20%, 30% e 40% de cinza de volante tipo F, e as relações (a/c) 0,32, 0,36 e 0,40. Os autores observaram que, para as mesmas proporções de cimento, a dosagem ideal de superplastificante foi a mesma para as relações de água/cimento (a/c) 0,32, 0,36 e 0,40. Em vista dessas observações, nesse trabalho foi utilizado o mesmo expediente, com relação a dosagem ideal de superplastificante, e foram inicialmente adotados como parâmetros, essas relações de água/cimento (a/c).

2.1.3.4 *Estudos sobre concreto de alta resistência (CAR)*

A outra característica que a matriz deste trabalho deverá possuir, é a mesma de um CAR, que de acordo com a norma NBR 8953 (2015), que trata de concretos para fins estruturais, que também faz a classificação pela massa específica, por grupos de resistência e pela consistência, classifica o CAR como de classe II, concretos de altas resistências variando entre 55 até 80Mpa.

Segundo Toralles-Carbonari et al. (2003) para o CAR é preferível usar agregados com distribuição granulométrica que permitam maior compacidade, menor índice de vazios, com formas angulares e superfícies ásperas que possibilitem maior aderência entre pasta e agregados. Os autores ressaltam que a resistência desses concretos são limitados superiormente pela resistência dos agregados graúdos e que a redução da sua dimensão máxima evita concentrações de tensões.

Também com relação aos agregados miúdos, Toralles-Carbonari *et al.* (2003) explicam que a sua granulometria influencia diretamente na demanda de água e recomendam que seja diminuída a quantidade de finos que passam nas peneiras de 0,3 e 0,15 mm, para reduzir esse efeito.

Richard *et al.* (1995) desenvolveram o concreto de pós reativos (CPR), um concreto empregando só partículas finas, e nesses estudos conseguiram resistências altas, em torno de 200 MPa para concretos empregados usualmente, e de 800 Mpa para concretos específicos para uso em pré-moldados. Recomendam para CAR o uso de areia com diâmetro máximo de 600 μm e diâmetro mínimo de 150 μm , para que não haja interferência das partículas mais finas de areia com as maiores partículas de cimento (80-100 μm).

2.1.3.5 *Estudos sobre concreto de alto desempenho (CAD)*

As propriedades do concreto de alto desempenho (CAD), reúne as características dos concretos auto adensável (CAA) e do concreto de alta resistência (CAR), do tipo que possui, no mesmo compósito, plasticidade fluida, ou plástica com alta resistência (AÏTCIN, 2000). O autor, faz uma classificação do CAD, pela abrangência de resistência, conforme está apresentado na sequência, na Tabela 2.

Tabela 2: Classe de concreto de alto desempenho (CAD)

Classe do Concreto	Resistência à compressão
Classe I	50 – 75 MPa
Classe II	75 – 100 MPa
Classe III	100 – 125 MPa
Classe IV	125 – 150 MPa
Classe V	>150 MPa

Fonte: (AİTCIN, 2000)

Mendes, *et al.*, (2017), desenvolveram um concreto de ultra alta resistência, utilizando somente micro partículas como agregados, compreendendo quatro tipo de partículas de areias basálticas: de 75-150 μm , 150-300 μm , 300-600 μm e de 600-1200 μm ; e também nanosférica. A Figura 14, apresenta duas micrografias (MEV), sendo a imagem (a), indicando as fases da microestrutura do concreto de ultra alta resistência, e a imagem (b), uma ampliação, que indica a densidade promovidas pelas partículas de nanosférica (nS) e de microssférica (SF).

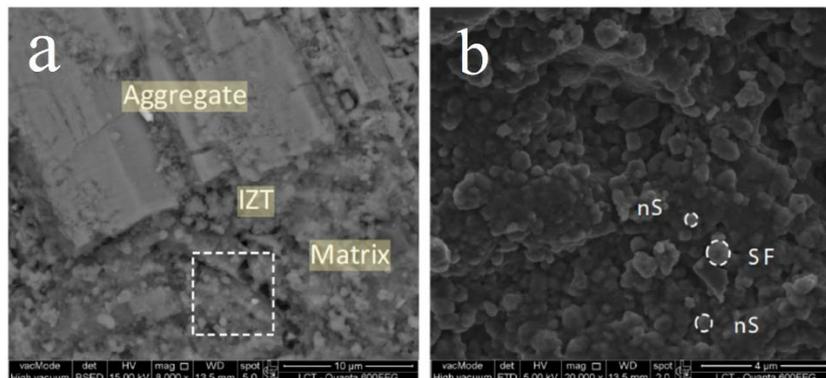


Figura 14: micrografias mostrando a microestrutura de um concreto de ultra-alta resistência.
Fonte: (MENDES *et al.*, 2017)

Segundo Mendes, *et al.*, (2017), a razão da grande densidade do concreto, está ligada diretamente com a dosagem adequada da microssférica, que ocasionou reações pozolânicas aumentando o poder cimentício da matriz e a redução da porosidade em conjunto com o método de empacotamento compressivo (MEC) de partículas, que promoveram um refinamento dos poros do concreto. Acentuam que, nas duas micrografias, não se observa a presença de vazios decorrentes de poros de ar aprisionados, ou devido à água de emassamento e também observa-se um fator muito importante, que é a ausência da ZTI.

2.1.4 Tecnologia das armaduras

Todo concreto com finalidade estrutural, necessita de armadura de reforço para poder resistir às tensões de tração, flexão e torção, à que os elementos estruturais são submetidos. Os materiais cimentícios produzidos a partir de cimento Portland, assim como, as argamassas e os concretos, embora apresentem boa rigidez e adequada resistência à compressão, têm outras propriedades deficientes, tais como: resistência à tração, ao impacto, à fadiga, além de baixa tenacidade e ductilidade (FERREIRA, 2002).

Conforme é contado por Kaefer (1998), desde que Monier em 1849 mergulhou na argamassa de concreto uma malha de aço, os elementos estruturais de concreto, adquiriram importantes comportamentos mecânicos, como por exemplo, de resistir aos esforços de flexão, torção e compressão, consolidando as armaduras nas estruturas de concreto.

A viabilização do concreto armado dos dias de hoje, veio com o desenvolvimento dos vergalhões de aço de baixo teor de carbono, acompanhado pelo aprimoramento do concreto estrutural, o que promoveu uma excelente aderência entre os dois materiais, fazendo com que ambos resistam solidariamente aos esforços a que são submetidos (JÚNIOR, 2014).

Os vergalhões especificados na construção civil, para fins estruturais, são classificados de acordo com a norma NBR 7480 (2008), em relação aos valores característicos de escoamento, nas categorias CA 25 e CA 50, e especificados como fios a categoria CA 60. As resistências características de escoamento das categorias estão relacionadas a seguir:

- CA - 25 corresponde a 250 MPa;
- CA – 50 corresponde a 500 MPa; e
- CA – 60 corresponde a 600 MPa.

Conjuntamente com o desenvolvimento do aço e o aprimoramento do concreto, vieram também alguns problemas inerentes ao concreto armado, que resultam na deterioração das estruturas, pelo mecanismo de corrosão das armaduras, devido principalmente a permeabilidade do concreto, que segundo Metha; Monteiro (2008), “é a chave para controlar os vários processos envolvidos no fenômeno”. A Figura 15, mostra a armadura de uma viga corroída.



Figura 15: corrosão típica de armadura.
Fonte: (ROSSI *et al.*, 2010)

Algumas medidas preventivas foram adotadas pela NBR 6118 (2014) para minimizar os efeitos que levam a despassivação das armaduras de aço e criar dificuldades a infiltração de agentes agressivos ao interior do concreto, com o cobrimento adequado das armaduras e o controle da fissuração, e além disso, é importante que o concreto seja bem compactado (FARIAS, 2014).

Wu; Mindess (2006) explicam que a principal função dos reforços é de controlar a fissuração do concreto, modificando o comportamento do material, uma vez que a matriz de concreto sempre fissa sob tensões excessivas. As fibras criam uma espécie de ponte ligando as partes da fissura, impondo resistência a sua propagação, quando começam a abrir, atribuindo certa ductilidade ao concreto.

A adição de fibras de aço nos concretos armado, além de minimizar o comportamento frágil característico do concreto, atribui ao concreto nova propriedade, passando a ser um material pseudo-dúctil, ou seja, continua apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicados mesmo após sua fissuração (FIGUEIREDO, 2000), conforme Figura 16.

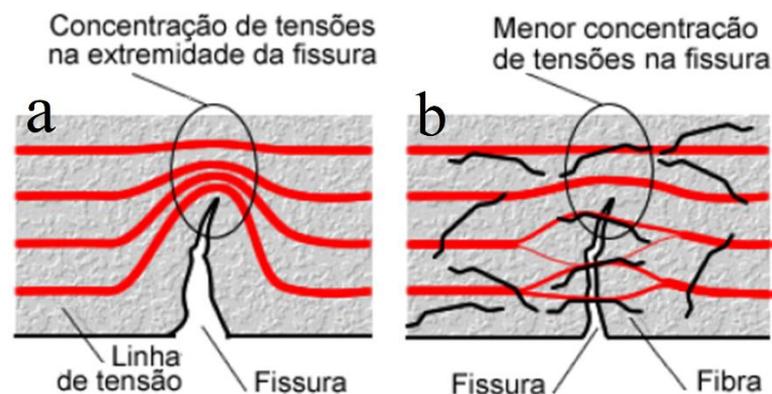


Figura 16: adição de fibras de aço no concreto.
Fonte: adaptado de (BARROS, 2009).

Na mesma linha de pesquisa, Toledo Filho *et al.*, (1999) ressaltam que a adição de reforço de fibras em concreto e em argamassa de cimento Portland, pode melhorar as propriedades mecânicas dos materiais básicos, tais como, resistência à flexão, à fadiga e aumentar a tenacidade à fratura, a capacidade de absorção de impacto, choque térmico e fragmentação.

2.1.4.1 *Estudos sobre reforço com fibras naturais*

As fibras naturais para reforço de matriz cimentícia são materiais bastante antigos, só pra se ter uma ideia, vestígios do uso de esteiras de fibras vegetais para reforçar estrutura, com a finalidade de combater os esforços de tração, foram encontrados em Zigurates, a construção mais importante da Mesopotâmia, obra construída pelos sumérios, considerada a civilização mais antiga do Oriente Próximo, o que ocorreu por volta do ano 3500 a.C., (KAEFER, 1998). Segundo o autor, também no Egito antigo, entre 3.000 a.C. a 2.500 a.C. foi empregado barro misturado com palha para fabricação de tijolos (secos ao ar livre) e de argamassas de *gipsita* e de cal na construção das pirâmides.

Essas duas citações exemplificam, o emprego milenar das fibras naturais em matrizes cimentícias, o que remete ao entendimento de uma perspectiva de domínio na utilização desse tipo de material na tecnologia do concreto, no entanto, a maioria das pesquisas desenvolvida nos últimos anos, tem apresentado resultados desanimadores no que se refere à durabilidade do material, (SILVA, 2002).

Essas propriedades são seguramente alcançadas com a utilização de fibras de aço, de carbono, de vidro e poliméricas, que são largamente empregadas na construção civil. No entanto, as fibras vegetais neste setor, provavelmente pela falta de padronização e certamente por falta de confiança, ainda não é uma realidade (PICANÇO; GHAVAMI, 2008).

Muitas pesquisas já foram feitas no sentido de resolver essa deficiência das fibras naturais, como por exemplo, a de Melo Filho (2012), que desenvolveu compósitos com matriz cimentícia livre de hidróxido de cálcio (CH) reforçados com fibras de sisal longa, com o que, produziu placas de amostras, conforme a Figura 17, visando o estudo de durabilidade química e térmica e comportamento mecânico. Os resultados após os ensaios de envelhecimento acelerado e em seguida de tração na flexão, apresentaram elevada resistência mecânica, com tensão última de cerca de 21 MPa, e tenacidade de cerca de 10 kJ/m².

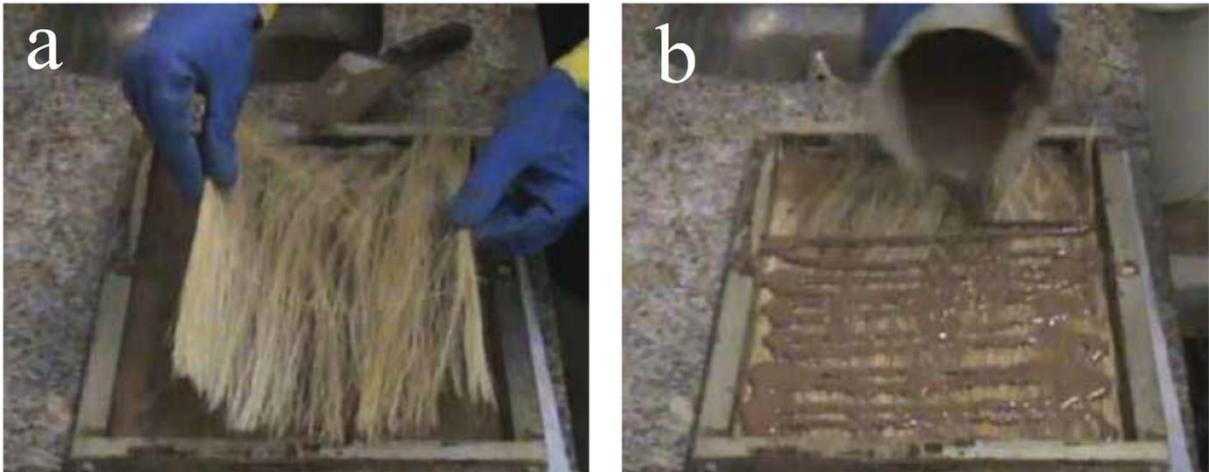


Figura 17: matriz cimentícia livre de hidróxido de cálcio com fibra de sisal.
Fonte: (MELO FILHO, 2012).

Nessa mesma linha de pesquisa, Oliveira (2013) empregou igual metodologia, só que utilizando a juta e a malva em seus estudos, e comprovou que os compósitos reforçados com ambas as fibras, apresentaram propriedades mecânicas promissoras no desenvolvimento de elementos semi-estruturais e estruturais. Para o compósito reforçado com juta, os resultados dos ensaios mecânicos de tração na flexão, foram de 5,19 MPa de tensão máxima e de 10,86 kJ/m² de tenacidade, e os resultados do compósito reforçado com malva, foram 10,86 MPa de tensão máxima e 17,12 kJ/m² de tenacidade.

Picanço; Ghavami (2008), realizaram pesquisas buscando alternativas para a substituição das fibras minerais proibidas de *asbesto*, que eram utilizadas nas matrizes de fibrocimento. Para o que, produziram compósitos com matriz cimentícia reforçados com fibras curtas e dispersas de sisal, juta e de curauá, obtendo como resultado dos ensaios mecânicos de compressão axial em corpos-de-prova cilíndrico, valores muito aquém daquele do cimento amianto de 73,5 MPa. Os resultados obtidos respectivamente foram 18,26 MPa, 18,15 MPa e 22,04 MPa.

Com o surgimento de novos materiais como a sílicas ativas, nanosílicas, aditivos superplastificante e materiais pozolânicos, que proporcionaram otimizações em algumas propriedades do concreto armado, as fibras naturais ganharam importantes aliados para tornar a matriz do concreto, um meio propício a sua utilização. Todo esse desenvolvimento também possibilitou o emprego do concreto trabalhável em elementos estruturais mais esbeltos, principalmente com o incremento de novos tipos de armaduras e de reforços, como as telas soldadas, as fibras de aço e poliméricas, que tornaram a matriz mais resistentes, e dúctil.

Na Alemanha em 2009, foi desenvolvido um novo material que tende revolucionar a construção civil, “o concreto têxtil,” reforçado por uma rede tecida como uma tela álcali-resistente, formada por polímeros de fibras de carbono, de vidro e resina epóxi, capaz de substituir as armaduras de aço que há quase 200 anos compõem as estruturas de concreto armado, conforme afirmam (KULAS; GMBH, 2015). A Figura 18, apresenta o concreto têxtil.

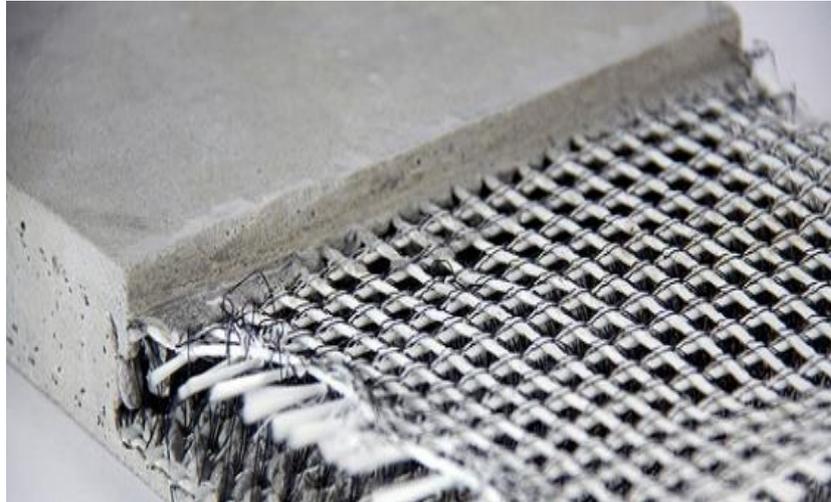


Figura 18: concreto têxtil.
Fonte: (ITAMBÉ, 2015).

Segundo Scheerer *et all.* (2015), apesar do concreto têxtil apresentar na pesquisa, excelente resultados, “sua aplicação até agora se resumi a pequenos painéis de fachada e para reforço de estruturas internas de concreto armado, especialmente submetidas a reforço de flexão na zona de tração sob carregamento predominantemente estático”.

2.1.4.2 Estudos sobre tecido de juta e malva

As fibras vegetais utilizadas na fabricação do tecido de juta destinada a produção de sacarias, são extraídas do caule da planta com nome científico de *Corchorus Capsulares* conhecida regionalmente como juta e da planta conhecida como malva, com nome científico de *Ureta Lobata Linn* (PAIVA, 2015). Segundo a autora, são culturas semelhantes que podem ser plantadas em consórcio em várzeas baixas, onde o plantio da juta é desenvolvido, portanto, sujeitas as variações dos ciclos das enchentes. Salienta que, a malva diferentemente da juta, pode também ser plantada nas várzeas altas e até mesmo anualmente em terras firmes, sem a influência periódica das inundações.

O processo para a obtenção das fibras são ainda rudimentares, e consiste em corte, maceração, trituração, secagem, embalagem e classificação (FIDELIS *et al.*, 2016), conforme as imagens (a) e (b) da Figura 19.



Figura 19: corte (a) e secagem (b) do processo de produção das fibras de juta.
Fonte:(PAIVA, 2015).

De acordo com os informes de 2016, da Secretaria de Estado de Produção Rural (SEPROR, 2016), o Estado do Amazona representa 87% da produção nacional e que na safra de 2014/2015, as produções dessas fibras foram de 24 toneladas de juta, e de 4050 toneladas de malva, sendo os maiores produtores do estado, os municípios de Manacapuru, Anamá e Beruri. Essas informações deixam perfeitamente evidenciado que as fibras que constituem os tecidos da juta regional, sejam basicamente de malva, visto que, a juta participa com menos de 1% do total de fibras produzidas. Embora o percentual de malva no tecido seja de quase 100%, os processos fabris e os produtos são reconhecidos ainda, como se fossem derivados somente da juta.

Conforme a pesquisa exploratória, elaborada para este trabalho nas instalações da empresa JUTAL S.A., foi identificado que nas operações de tecelagem da juta, as duas culturas recebem o mesmo tratamento e por serem muito parecidas, as fibras são misturadas no processo de fabricação do tecido para sacaria. A tecelagem da juta é um processo industrial que envolve vários setores, desde o recebimento com os serviços manuais de classificação e mecânico para prensagem de fardos, setores automatizados com máquinas emendadoras, de dobragens, passadeiras, feiras, bobinadoras, urdideiras, engomadeiras, fiação e costura. As imagens (a) e (b), da Figura 20, mostra parte do processo de tecelagem de juta da empresa JUTAL S.A.



Figura 20: equipamentos de tecelagem de juta,
Fonte: autor.

Antes do processo de fiação, as fibras recebem um tratamento com óleo vegetal conforme a imagem (a) da Figura 21, para o seu amaciamento e para se tornarem mais flexível e assim, obterem um condicionamento para então, serem utilizadas nos equipamentos automáticos que transformam as fibras em cordões. Em uma outra parte do processo, os cordões formados por fibras são engomados com cola (goma), preparada a partir de amido de milho, de fécula da macaxeira ou da mandioca, com a finalidade de proporcionar uma impermeabilização, visando sua durabilidade (JUTAL, 2018). Conforme mostrado na imagem (b), a baixo.



Figura 21: tratamento de óleo vegetal nas fibras (a) e impermeabilização dos cordões de juta com goma (b).
Fonte: autor.

O produto que sai da fiação são tecidos em bobinas medindo 1,00 m de largura por 10,00 m de comprimento. Nesse setor são produzidos dois tipos de tecidos de juta, sendo um com malha fechada para fabricação de sacos para embalagem de café e outro com malha aberta para fabricação de sacos para embalagem de batatas. Embora o produto final seja a sacaria, os tecidos de juta também são fornecidos em bobinas para o comércio local, com a finalidade de atender a demanda do vestuário, da movelaria e dos artesanatos. A Figura 22, mostra na imagem (a), as medidas do tecido de malha aberta, e na (b), as dimensões da bobina adquirida para esse trabalho.

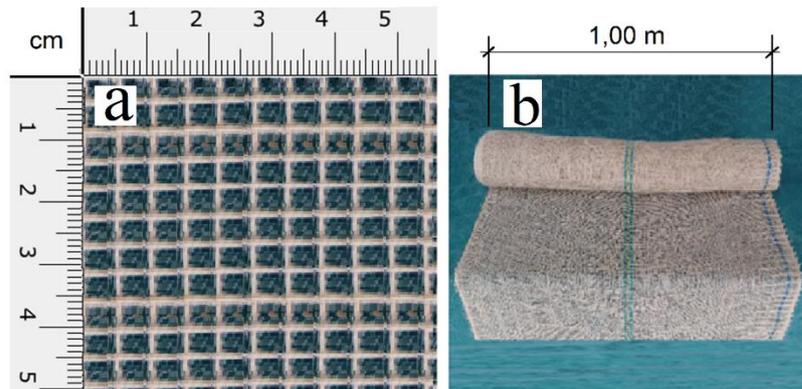


Figura 22: tecido de juta com malha aberta (a), e bobina de tecido de juta de 1,00x10,00 m (b).
Fonte: autor.

No setor de controle de qualidade, são efetuadas: a verificação da quantidade de fibras contidas na secção transversal do cordão de amostra, sendo especificado o mínimo de 80 fibrilas; o controle por amostragem da gramatura do cordão de cada fiandeira por meio de pesagem, tendo como especificação $0,040 \pm 10$ kg/m; o ensaio de resistência do cordão na tração direta, com limite inferior de ruptura de 4,5 kgf; e o controle dimensional dos intervalos entre tramas e entre urdumes de cada tipo de malha, conforme as dimensões especificadas para:

- malha fechada, sendo 34 tramas para cada 10 cm e 48 urdumes para cada 10 cm, correspondendo a uma malha com abertura de 3 x 2,1 mm;
- malha aberta, sendo 19 tramas para cada 10 cm e 23 urdumes para cada 10 cm, correspondendo a uma malha com abertura de 5,5 x 4,5 mm.

2.1.4.3 Estudos sobre tratamentos de tecido de juta

Conforme descrito no capítulo anterior, as características dos tecidos de juta, são específicas para a produção de sacarias (embalagens), no entanto, estudos voltados para o tratamento das fibras de juta, foram efetuados visando o seu emprego como reforço de compósitos de matrizes poliméricas e cimentícias.

Nesse contexto, Pires *et al.*, (2009) fizeram pesquisas voltadas ao tratamento de superfícies de fibras, para reforço de compósitos com matriz epóxi. As fibras foram modificadas com solução de hidróxido de sódio, que nos gráficos da Figura 23, são representadas por “N” e com agente silano por “NS”. Os resultados do comportamento mecânico dessa pesquisa são apresentados na mesma figura, onde “ST” corresponde a fibra sem tratamento e “Epóxi” significa matriz sem reforço.

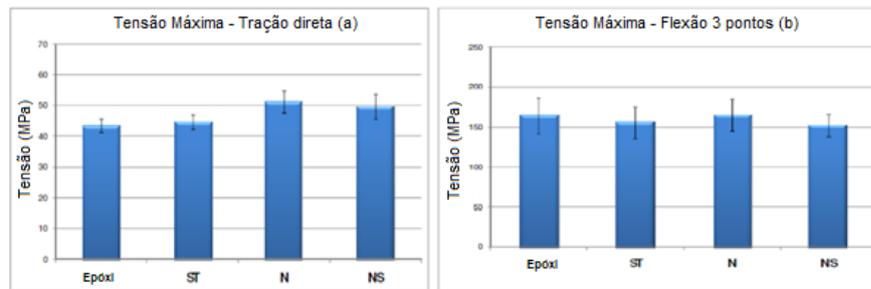


Figura 23: Gráficos de tensão máxima (a) e de Flexão 3 pontos (b).
Fonte: adaptado de (PIRES *et al.*, 2009)

Com o mesmo propósito, Fidelis (2014) estudou o desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis, reforçados com fibras de juta. No qual, visando proteger as fibras do ataque alcalino, produziu placas com matriz de baixo teor de hidróxido de cálcio e fez tratamento superficial com impregnação de polímero no tecido de juta. Os resultados dos ensaios mecânicos, em compósito reforçado com 3 (três) camadas de tecido, apresentaram comportamento à tração direta com múltipla fissuração, com tensão última de 4,38 MPa e deformação de 3,49 %.

Portela (2016) pesquisou sobre compósito com matriz geopolimérica, tendo como ativadores, hidróxido de potássio e silicato de hidróxido de potássio, misturados a metacaulinita, cimento e areia. O compósito foi reforçado com três camadas de tecido de juta, com o qual, foram produzidas placas, que depois foram cortadas nas medidas de 80 x 350 x 11 mm (largura x comprimento x espessura) para ensaios mecânico de flexão e com as dimensões de 50 mm x 350 mm x 11 mm para os ensaios mecânicos de tração direta. Os resultados apresentaram os respectivos valores de 21,4 MPa e de 1,53 MPa.

Na pesquisa de Oliveira (2017), foi realizada a caracterização mecânica de telhas cimentícias reforçadas com duas camadas de tecido de juta impregnada com resina acrílica. Para tanto, foi desenvolvida uma matriz a base de cimento Portland, o qual, teve substituição parcial por resíduo de tijolo moído, para reduzir o teor do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), gerado durante o processo de hidratação do cimento. Os resultados apresentaram valores de tensão máxima de 3,75 MPa na de tração direta e de 15,02 MPa na de tração na flexão.

Tratamentos químicos por meio de mercerização, silanização e acetilação, foram utilizados para modificar a estrutura da fibra. Como resultado, as propriedades mecânicas foram melhoradas em função da maior interação interfacial entre a fibra e a matriz polimérica. (ALBINANTE *et al.*, 2013).

Neste trabalho, o tratamento escolhido para proteger o tecido de juta, para que, não sofram degradação devido ao hidróxido de cálcio, contido na matriz cimentícia, foi a

impregnação com resina de epóxi. Essa impregnação tem a finalidade de criar um revestimento para o isolamento das fibras de juta, em relação a matriz cimentícia, e de promover maior aderência.

Esse tipo de resina epóxi são empregadas na construção civil para colagem das aduelas de pontes de concreto (KOMAR, 2015). Também são utilizadas nos engastamentos de armaduras, na colagem de concreto antigo, reparos de pisos e em superfícies de concreto com resistência superior ao concreto existente (MASSADUR, 2018), conforme demonstrado nas imagens (a) e (b) da Figura 24.

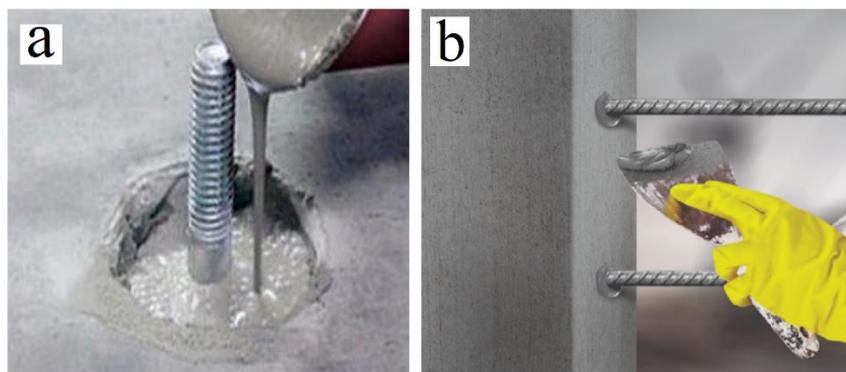


Figura 24: chumbagem de incerto no piso (a) e de arranque de armadura com resina epóxi (b)
Fonte: (MASSADUR, 2018); (POLIPOX, 2018)

No mercado nacional da construção civil, a resina epóxi é facilmente encontrada e vendida nas lojas de matérias de construção, sendo fornecida em quantidades fracionadas de um litro dividido em dois componentes com embalagens específicas, conforme Figura 25. São materiais bi componentes, sendo uma base e um catalizador para serem misturados no momento que forem ser usados.



Figura 25: produtos similares de resinas de epóxi.
Fontes: (WEBER, 2018); (VEDACIT, 2018); (SIKA, 2014).

3 CAPÍTULO - MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma da Figura 26, apresenta as etapas dos procedimentos para caracterização dos materiais e os procedimentos experimentais que foram produzidos nesta pesquisa.

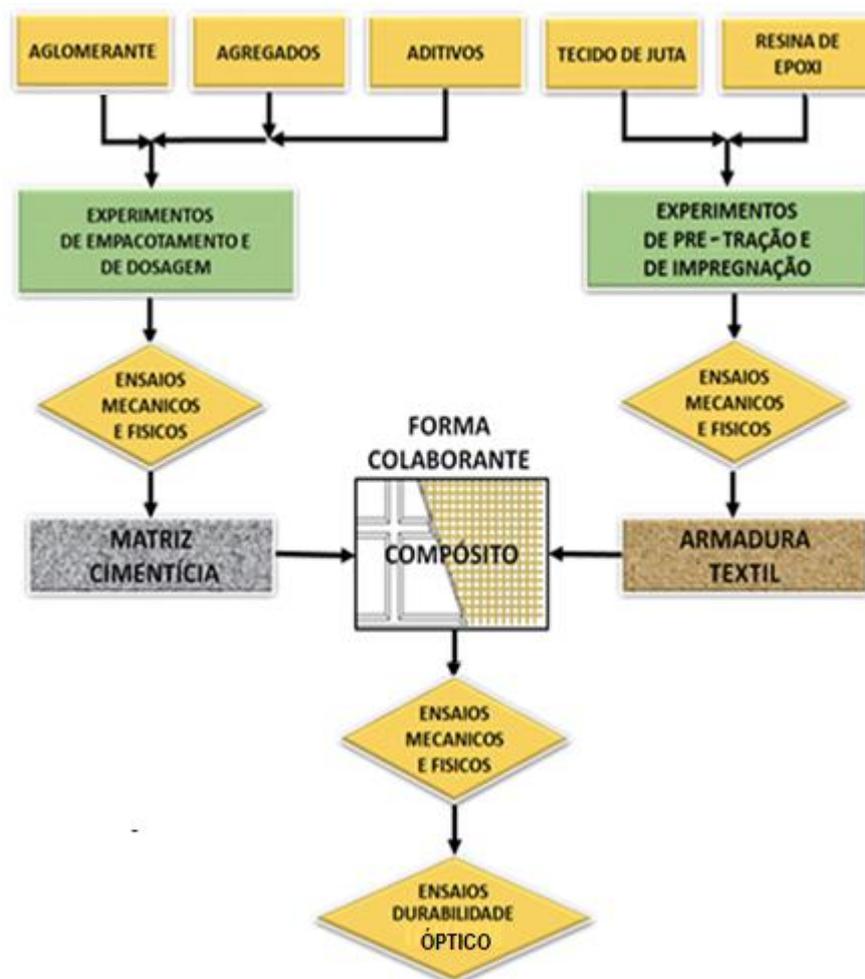


Figura 26: Fluxograma dos procedimentos utilizados na metodologia.
Fonte: Autor.

Conforme o fluxograma da Figura 26, inicialmente foram efetuados os procedimentos para a caracterização química e física dos materiais, que foram empregados como insumos nos compósitos, como por exemplo: o aglomerante, os agregados, os aditivos, o tecido de juta e a resina epóxi.

Em seguida com a obtenção e o devido conhecimento das características químicas, físicas e mecânicas, desses materiais, foi possível efetuar os procedimentos experimentais, ensaios e as análises necessários para o desenvolvimento da matriz cimentícia e da armadura têxtil, do compósito da forma colaborante.

No que se refere, ao desenvolvimento da matriz cimentícia, os procedimentos experimentais e ensaios empregados nesta etapa, visaram um melhor empacotamento entre partículas do esqueleto granular, por meio do MEC (método de empacotamento compressivo), para o que, foram produzidos, analisados e escolhidos os tamanhos das partículas por intermédio de moagem e peneiramento.

Essas informações forneceram os subsídios necessários ao desenvolvimento da dosagem experimental da matriz cimentícia, no que, envolveu ensaios físicos e mecânicos, como o de reologia no estado fresco e o de resistência à compressão de corpos-de-prova no estado endurecido.

No que se refere, ao desenvolvimento da armadura têxtil, os procedimentos experimentais e os ensaios utilizados nesta etapa, tiveram a finalidade de transformar o tecido de juta em uma armadura, para atribuir ao compósito, propriedades que possibilitassem uma melhor distribuição de tensões, à que, são impostas a forma colaborante, durante lançamentos de concreto fresco, quando esta estivesse servindo como molde de elementos estruturais.

Nesta etapa, foram efetuados ensaios de tração direta nos cordões do tecido de juta, levando-os a tensão de ruptura. Depois com base nessas informações, foram aplicadas uma força de pré-tração nos cordões das tramas e dos urdumes, no limite da tensão admissível.

Também foram realizados, ensaios para estabelecer o tempo de absorção da resina epóxi pelas fibras de juta, para então, efetuar os procedimentos experimentais de impregnação do tecido de juta com a resina epóxi. Depois de impregnadas, amostras da armadura têxtil, foram retiradas e submetidas aos ensaios de resistência à tração direta e de impermeabilidade.

Na sequência, após a otimização do compósito, ou seja, da compatibilização entre a matriz e a armadura, foram realizados procedimentos para a produção de 6 (seis) placas nervuradas de amostras da forma colaborante, nas dimensões de 40 x 40 cm com o compósito desenvolvido.

Após o tempo necessário para cura, as placas foram cortadas e recortadas para extração de corpos-de-prova e de testemunhos, para serem submetidas aos ensaios mecânicos e físicos. Com as análises dos resultados dos ensaios de tração na flexão, absorção, densidade aparente, massas específicas e de impermeabilidade, a forma colaborante foi caracterizada com as propriedades adquiridas pelas placas nervuradas, produzidas com o compósito desenvolvido neste trabalho. Como avaliação complementar, foram também, efetuadas análises nos aspectos de conformidade interna da microestrutura do compósito, por meio de microscopia digital.

3.1 MATERIAIS

Neste capítulo, são descritos os materiais que foram utilizados como insumos no compósito da forma colaborante, considerando as informações de fabricação especificadas, relativas as características físicas e de suas propriedades químicas e mecânicas.

3.1.1 *Cimento Portland*

O aglomerante utilizados neste trabalho foi o cimento Portland comum CP I-S 40, produzido pela (CEMEX, 2018), conforme o certificado do produto nº 002-18-CPIS40, encontrado no anexo C deste trabalho. A preferência em adotar esse tipo de cimento Portland, foi devido a facilidade de aquisição em todo o território nacional e em função dos teores de seus componentes, com poucas adições entre 1 e 5% de material pozzolânico, carbonáticos e de escória granular de alto-forno (NBR 5732, 1991).

3.1.2 *Agregados*

Os agregados empregados neste trabalhos, são a sílica ativa utilizada para o preenchimento dos vazios e para reagir com os hidróxido de cálcio do cimento, e os outros são as partículas finas e ultrafinas selecionadas e extraídas de pó de brita, para utilização na composição do esqueleto granular da matriz cimentícia.

3.1.2.1 *Sílica Ativa*

A sílica ativa empregada neste trabalho, foi fornecida pela Tecnosil (2018). Dentre as características informadas pela fabricante, a sílica ativa é composta por sílica amorfa, óxido de ferro, cálcio, alumínio, magnésio, sódio, potássio, carbono e água.

O quadro da Tabela 3, apresenta o teor da principal substância química e as características físicas de fabricação da sílica ativa, informadas pela (TECNOSIL, 2018).

Tabela 3: características químicas e físicas da sílica ativa.

Características	Parâmetros
Teor de SiO ₂	> 85 %
Superfície específica	20.000 m ² /kg
Massa específica	2.220 kg/m ³
Diâmetro Médio	< 1 µm
Formato da partícula	Esférico

Fonte: adaptado de (TECNOSIL, 2018).

3.1.2.2 *Pó de brita*

O pó de brita adotado neste trabalho, é um resíduo do processo de britagem regional, que é considerado como pedrisco ou areia grossa, devido a sua curva granulométrica, apresentar-se dentro de uma faixa, que varia de zero a um diâmetro máximo abaixo de 5 mm (EBAM, 2018).

Como esclarecimento, o esqueleto granular da matriz cimentícia, deste trabalho, foi desenvolvida sem agregados graúdos, foi usado apenas partículas finas de pó de brita. As partículas finas e ultrafinas utilizadas, relacionadas a seguir, foram selecionadas por intermédio de sucessivas moagens, no que, foi usado um moinho de bola e separadas por peneiramentos, num agitador de peneira, descritos neste trabalho, no procedimento para produção de partículas. Portanto, os materiais adotados foram:

- Partículas de pó de brita na faixa granulométrica de 425 à 250 µm;
- Partículas de pó de brita na faixa granulométrica de 180 à 106 µm

3.1.3 *Aditivos*

Os dois tipos de aditivos empregados nos procedimentos para preparo e aplicação na matriz cimentícia da forma colaborante, foram a água potável da rede de distribuição pública e um superplastificante.

3.1.3.1 *Água para Amassamento*

A água utilizada no processo de amassamento da matriz cimentícia, é fornecida pela concessionária local, a empresa Manaus Ambiental (2018), que abastece com água potável toda

área metropolitana da cidade. A NBR 15900-1 (2009) especifica os requisitos para a água ser considerada adequada ao preparo de concreto e descreve os procedimentos de amostragem, bem como os métodos para sua avaliação. De acordo com o Ministério da Saúde, a água potável, que atende à Portaria nº 518, pode ser utilizada sem restrição para a preparação de concreto. Portanto, não havendo a necessidade de realizar ensaios para sua caracterização.

3.1.3.2 Superplastificante

O superplastificante empregado na matriz cimentícia da forma colaborante, foi o *Powerflow 1160* a base de PCE – Policarboxilato, que é um superplastificante sintético de alto desempenho baseado na nova tecnologia de polímeros (PCE) desenvolvido pela (MC-BAUCHEMIE, 2018). A Tabela 4, apresenta os dados técnicos e características desse material.

Tabela 4: dados técnicos e características do superplastificante.

Características	Parâmetros
Produto	MC- <i>PowerFlow</i> 1160
Estado	Superplastificante líquido
Dosagem recomendada	0,2 a 5,0 %
Cor	Marrom
Densidade	1,07 g/cm ³

Fonte: adaptado de (MC-BAUCHEMIE, 2018).

Conforme expressado na Tabela 4, a dosagem recomendada varia de 0,2 a 5,0 % da massa do cimento.

3.1.4 Armadura têxtil

Neste trabalho foi desenvolvido e utilizado como armadura têxtil um tecido de juta impregnado com resina epóxi, para reforço do compósito da forma colaborante.

3.1.4.1 Tecido de Juta

O tecido de juta empregado na armadura têxtil, é o de malha aberta, com abertura medindo 5,5x4,5 mm, utilizado para a produção de sacos de embalagem de batatas, o qual é

produzido e fornecido pela empresa JUTAL S.A., em bobinas medindo 1,00 metro de largura por 10,00 metros de comprimento. Esse tecido foi adotado, na hipótese de facilitar no escoamento sem dificultar ou reduzir a viscosidade da matriz cimentícia no estado fresco, durante a moldagem das placas nervuradas de amostras da forma colaborante. Na Tabela 5, estão relacionados as características e parâmetros de controle de qualidade de fabricação de tecido de juta, durante o processo de tecelagem.

Tabela 5: características de fabricação do tecido de juta.

Características	Parâmetros
Tramas da malha	19 unid a cada 10 cm
Urdumes da malha	23 unid a cada 10 cm
Fibras por cordão	≥ 80 fibrilas
Gramatura do cordão	$0,040 \pm 10$ kg/m
Limite de ruptura do cordão	4,5 kgf

Fonte: adaptado de (JUTAL, 2018).

3.1.4.2 Resina de Epóxi

A resina adotada neste trabalho, para impregnação do tecido de juta, com a finalidade de transforma-lo em armadura têxtil, é a tecbond TIX quartzolit, de fabricação da empresa Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção (WEBER, 2018). Trata-se de um adesivo estrutural à base de resina epóxi, bi componente, isento de solventes, com alta viscosidade e com tempo de pega normal, sendo composto também por agregados devidamente dosados. Segundo o fabricante é um material que foi desenvolvido para uso exclusivo em concreto. No boletim técnico, também são apresentadas as propriedades e as características técnicas, da resina tecbond TIX quartzolit conforme o quadro da Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades e características técnicas da resina de epóxi.

Propriedades e características	Parâmetros
Massa específica	2,009 kg/dm ³
Tempo de manuseio (vida útil)	60 minutos à 25° C
Cura inicial e final	24 horas /7 dias
Temperatura de aplicação	5° à 35° C
Temperatura de serviço	-30° à 70° C
Resistência à compressão 24h	40 Mpa (NBR 5739)
Resistência à compressão 7 dias	50 Mpa (NBR 5739)

Fonte: adaptado de (WEBER, 2018).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste item são descritos os métodos e os ensaios dos materiais que foram caracterizados e utilizados neste trabalho, os quais foram elaborados de acordo com as prescrições normativas específicas para cada tipo de material descritos a seguir.

3.2.1 *Composição química dos materiais*

Para o análise dos elementos químicos constituintes dos materiais de insumo do compósito como: o cimento Portland; a sílica ativa; o pó de brita; e o tecido de juta, foi empregado o método de espectrometria de fluorescência de Raio-X (FRX) por energia dispersiva. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM.

O equipamento utilizado nos ensaios foi o Espectrômetro PANalytical, modelo EPSILON 3 XL, com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA, em ambiente de Gás Hélio (pressão 10 atm./10 kgf/cm²). A Figura 27, mostra o equipamento de FRX.

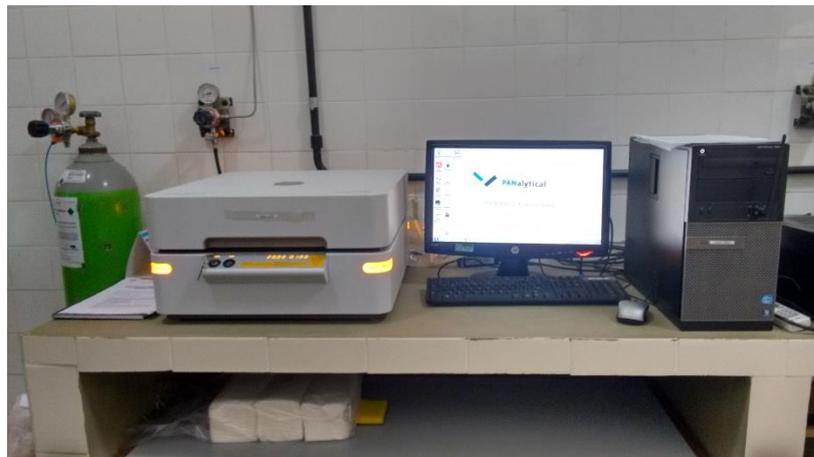


Figura 27: equipamento espectrometria de fluorescência de raio X.
Fonte: Autor.

Para possibilitar os ensaios, foram entregues 10 g de amostra em pó de cada tipo de material, que foram previamente moídos, passados na peneira de 75 μ m e secas em estufa na temperatura de 105 \pm 5 $^{\circ}$ C, (com exceção do pó juta que foi de 40 \pm 5 $^{\circ}$ C). Durante os ensaios no laboratório, as amostras foram colocadas nas cubêtas, que são pequenos recipientes com fundos com filmitos previamente montados, os quais foram preenchidos com uma fina camada de pó

de cada amostra, com espessura suficiente para não deixar vazios e não permitir passagem de luz pelo fundo. As cubêtas com as amostras foram colocadas nos nichos do equipamento, onde foram processadas conjuntamente.

3.2.2 Estrutura cristalina dos materiais

Nos ensaios para caracterização das estruturas cristalinas dos elementos químicos que constituem os materiais de insumo do compósito da forma colaborante, como: o cimento, a sílica ativa, o pó de brita, e também o tecido de juta, foi empregado o método de difração de Raio-X (DRX). Os ensaios foram elaborados no Laboratório de Nanotecnologia da IFAM - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Am.

O equipamento utilizado foi fabricado pela BRUKER, modelo *D2 Phaser diffractometer*, equipado com fenda de 0,6 mm, fenda de 3mm, tubo de radiação de Cu ($k\alpha = 0,15406$ nm, 30 kV, 10 mA), range de varredura de $5 - 100^\circ(2\theta\text{THETA})$, num passo de $0,02^\circ$, com intensidades registradas por 1 s em cada passo, conforme demonstrado na Figura 28.



Figura 28: difratometro de raio-X, (DRX)
Fonte: Autor

Para possibilitar esses ensaios, foram entregues no laboratório 10 g de amostra de cada tipo de material, devidamente embaladas em frasco de vidro com fechamento hermético, as quais, foram previamente secas em estufa na temperatura de $105\pm 5^\circ\text{C}$, com exceção das amostras de juta que foi na temperatura de 40°C e depois reduzidas a um tamanho menor que 1 mm. Durante os ensaios, as amostras foram colocadas num porta-amostra então introduzidas no equipamento de DRX, para o processamento das análises.

Após os ensaios, o laboratório de Nanotecnologia da IFAM, forneceu os resultados das análises dos materiais, com os quais, foram plotados os respectivos gráficos de difratogramas utilizando-se o Programa X'Pert HighScore Plus. Também por intermédio do difratograma do tecido de juta, foi determinado o seu índice de cristalinidade, empregando o método empírico de (SEGAL *et al.*, 1959).

$$CrI = \frac{(I_{002} - I_{am})}{I_{002}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

CrI = índice de cristalinidade em percentual;

I_{002} = pico de intensidade que representa o material cristalino;

I_{am} = pico de intensidade que representa o material amorfo.

3.2.3 *Composição granulométrica dos materiais*

Foram efetuados ensaios de granulométrica por difração à Laser no cimento Portland e na sílica ativa. No pó de brita foi utilizado o método prescrito na norma (NBR NM 248, 2003) voltado aos agregados miúdos e graúdos para concreto.

3.2.3.1 *Granulometria método de difração a Laser.*

Esses ensaios foram elaborados no laboratório da LAMIN-MA-CPRM, que utiliza um instrumento de dimensionamento de partículas, produzido pela MALVERN, modelo Mastersize 2000, que mede as distribuições de tamanhos de partículas, através da variação angular na intensidade da luz espalhada à medida que um feixe de laser passa por uma amostra particulada dispersa. Nesse ensaio foram obtidas as granulometria a laser do cimento Portland, da sílica ativa e do tecido de juta. A Figura 29, apresenta o equipamento usado nos ensaios.



Figura 29: instrumento para dimensionamento de partícula a *Laser*.
Fonte: (GONÇALVES, 2017).

Para possibilitar os ensaios, foram entregues 10 g da amostra de cada tipo de material em embalagem herméticas, os quais, foram previamente secas em estufa na temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ e depois peneiradas (peneira de $75 \mu\text{m}$), também foi entregue um litro de álcool etílico com 95% de pureza. Não houve acompanhamento durante a elaboração dos ensaios. Os resultados dos ensaios foram recebidos, por intermédio de laudos de análise sedimentométrica de granulometria, contendo os relatórios dos dados das análises, os resultados de medições de distribuição de tamanho de partículas, os dados referentes a curva granulométrica e os gráficos das curvas granulométricas, que podem ser acessados no anexo B.

3.2.4 Caracterização do Pó de brita

Os ensaios para a caracterização do pó de brita, foram efetuados de acordo com as recomendações da (NBR 7211, 2009). Na Tabela 7, estão relacionados os ensaios, os métodos e os laboratórios onde foram realizados.

Tabela 7: Ensaios, métodos e Laboratórios para caracterização do Pó de Brita.

Ensaios	Métodos	Laboratórios
Composição química	Espectrometria de FRX	LAMAC-UFAM
Estrutura cristalina	Difração de Raios-X - DRX	LABORATÓRIO DO IFAM
Granulometria	NBR NM 248 (2003)	LEM-UFAM
Material pulverulento	NBR NM 46: 2006	LEM-UFAM
Teor de impurezas	ABNT NM 49:2001	LEM-UFAM

Fonte: autor

3.2.5 Caracterização do Cimento

Os ensaios para caracterização do cimento Portland comum CP I-S 40, foram efetuados de acordo com a NBR 5732 (1991), que fixa as exigências físicas, mecânicas e químicas. Os métodos e os laboratórios onde foram realizados, estão indicados nas Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8: exigências físicas e mecânicas do cimento Portland comum CP I-S 40.

Características e propriedades	Limites (% da massa)	Métodos	Laboratórios
Consistência	Normal %	NBR16606: 2017	LEM-UFAM
Início de pega	≥ 1 h	NBR 16607:2017	
Fim de pega	≤ 10 h		
Finura # 75 μ m	$\leq 10,0$ %	NBR 11579: 2012	LAMIN-MA
Área específica	≥ 280 m ² /kg	NBR 16372: 2015	CPRM
Teor de adições (Z, E, F)	$\leq 5,0$ %	NBR 5752: 2014	KONKREX
Expansibilidade a quente	$\leq 5,0$ mm	NBR 11582: 2016	
Expansibilidade a frio	$\leq 5,0$ mm		
Resistencia compr. 3 dias	$\geq 15,0$ MPa	BR 7215: 1996	
Resistencia compr. 7 dias	$\geq 32,0$ MPa		
Resistencia comp. 28 dias	$\geq 40,0$ MPa		

Fonte: adaptado de NBR 5732 (1991).+

Tabela 9: exigências químicas do cimento Portland comum CP I-S 40.

Determinações químicas	Limites (% da massa)	Normas ABNT NBR	Laboratório
Perda ao fogo (PF)	$\leq 4,5$ %	NM 18: 2012	KONKREX
Resíduo insolúvel (RI)	$\leq 5,0$ %	NM 15: 2012	
Oxido de mag. MgO	$\leq 6,5$ %	NM 11-2: 2012	LAMAC-UFAM
Trióxido enxof. SO_3	$\leq 4,0$ %	NM 16: 2012	
Anidrido carbonico CO_2	$\leq 3,0$ %	NM 20: 2012	

Fonte: adaptado de NBR 5732 (1991).

Nas tabelas, estão fixados os limites estabelecidos pela norma NBR 5732 (1991) e as respectivas normas que prescrevem os métodos de ensaios dos elementos químicos. Neste trabalho, os teores de MgO , SO_3 e de CO_2 , foram apurados e avaliados por intermédio dos ensaios de FRX, no laboratório do LAMAC da UFAM. Com relação as exigências de perda ao fogo e de resíduos insolúveis, os ensaios, foram realizados e os resultados fornecidos pela empresa KONKREX.

3.2.6 Caracterização da Sílica Ativa

No catálogo da Tecnosil (2018) fornecedor da sílica ativa, são informadas apenas os nomes das substâncias químicas que compõe o produto como óxido de ferro, cálcio, alumínio, magnésio, sódio, potássio, carbono e água, indicando somente o teor de sílica amorfa. Também no que tange a composição granulométrica é informado apenas que o tamanho médio das partículas é $< 1 \mu\text{m}$. Em função da necessidade do reconhecimento mais preciso dessas características físicas e químicas, foram efetuados ensaios conforme se apresenta no Tabela 10.

Tabela 10: Ensaios, métodos e Laboratórios para caracterização da Sílica Ativa.

Ensaio	Métodos	Laboratórios
Composição química	Espectrometria de FRX	LAMAC-UFAM
Estrutura cristalina	Difração de Raios-X - DRX	LABORATÓRIO DA IFAM
Granulometria	Difração à laser	LAMIN-MA-CPRM
Área superficial	Difração à laser	LAMIN-MA-CPRM

Fonte: autor.

3.2.7 Caracterização do Tecido de Juta

Para fins de caracterização do tecido de juta, neste trabalho foram efetuados os ensaios constantes na Tabela 11, onde estão relacionados os métodos, as normas e os laboratórios, utilizados. O método dos ensaios de tração direta, sofreu adaptações e por esse motivo, foi descrito no item 3.2.7.1, apresentado logo a seguir. Também foram elaborados dois estudos, sendo, um que determinou os parâmetros para os procedimentos de impregnação do tecido de juta, no que se refere, ao tempo de absorção da resina de epóxi, descrito no item 3.3.2.5.1. E outro voltado ao tensionamento dos cordões, dos urdumes e das tramas da malha do tecido, descrito no item 3.3.2.3, procedimento de pré-tração.

Tabela 11: Ensaios, métodos e Laboratórios para caracterização do tecido de juta.

Ensaio	Métodos	Laboratórios
Composição química	Espectrometria de FRX	LAMAC-UFAM
Estrutura cristalina	Difração de Raios-X - DRX	LABORATÓRIO DO IFAM
Tração direta nos tecidos	(NBR 14727, 2016)	LAMAC-UFAM

Fonte: autor

3.2.7.1 Ensaio de tração direta no tecido de juta

Os ensaios de tração direta, foram utilizados neste trabalho, para atender a duas finalidades, sendo uma delas, a caracterização das propriedades mecânicas do tecido de juta, como, as tensões normais de ruptura dos corpos-de-prova, as respectivas deformações, módulos de resiliência e de tenacidade. A outra finalidade foi para determinar o deslocamento máximo admissível, para que, durante os procedimentos de pré-tração, não ocorressem rupturas nos cordões do tecido de juta.

A norma NBR 14727 (2016), prescreve o método de ensaio, para materiais têxteis, que determinam a resistência à tração e alongamento de tecidos planos (*grab test*), utilizando um dinamômetro tipo CRT. Conforme descrito na norma, o ensaio, consiste em tracionar um corpo-de-prova até a sua ruptura, utilizando um dinamômetro INSTRON.

Neste trabalho, ao invés da utilização do dinamômetro, os ensaios de tração foram realizados no laboratório LAMAC da UFAM, em uma máquina universal eletromecânica, modelo AME-5kN da marca Oswaldo Filizola, que tem a capacidade máxima de 5000 N. O equipamento, possui um programa de computador DynaView Pro M, no qual, foi programado 0,3 N/s para a velocidade de tensionamento, e que também, forneceu os relatórios com os resultados dos ensaios. A imagem (a) da Figura 30, mostra o dispositivo utilizado nos ensaios de tração, na imagem (b) mostra um corpo-de-prova montado nas garras de apoio e na (c), mostra sua composição e dimensões.

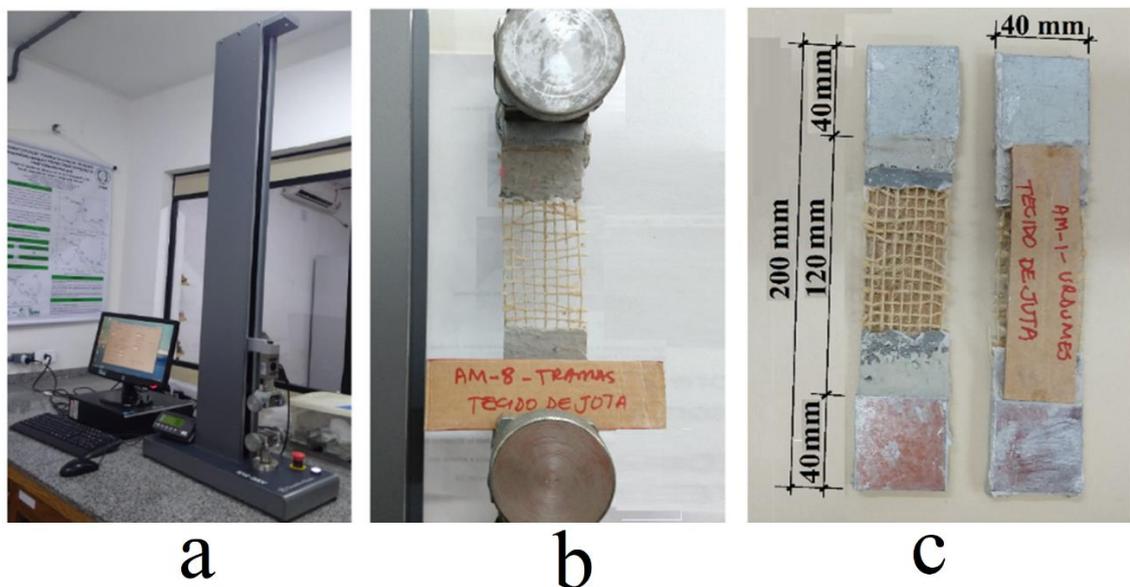


Figura 30: dispositivo de tração (a), detalhe da fixa na garra (b) e as dimensões do corpo-de-prova (c).
Fonte: autor

Durante os ensaios, foram utilizados 8 (oito) corpos-de-prova de tecido de juta, sendo, 4 (quatro) no sentido das tramas, contendo 8 (oito) cordões e 4 (quatro) no sentido dos urdumes, contendo 9 (nove) cordões. Conforme a imagem **c** da Figura 30, os corpos-de-prova, foram dimensionado em função das medidas das garras do dispositivo de tração, portanto, foram cortados na medida de 40x200 mm. E para possibilitar um encaixe adequado nas garras, foram adaptados nas extremidades dos corpos-de-prova, placas metálicas, coladas com resina de epóxi (Sikadur 32). Essa adaptação, foi baseado nas pesquisas de (LIMA, 2004) e de (MELO FILHO, 2005).

Para facilitar nas montagens, dos corpos-de-prova do tecido de juta, nas garras do dispositivo de tração, foi necessário, mantê-los enrijecidos, para o que, foram colocadas numa das laterais, no sentido do comprimento, tiras de papelão medindo 3,5x120 cm, coladas com silicone, para facilitar a sua remoção antes do início de cada ensaio, conforme demonstrado na imagem **c** da Figura 30.

3.2.7.2 *Determinação da área média da seção do tecido de juta:*

Esse procedimento teve a finalidade, da obtenção das áreas médias das secções dos cordões, que compõem a malha do corpos-de-prova do tecido de juta nas duas direções. Essas informações, juntamente com os relatórios do ensaio de tração direta, foram necessárias, para os cálculos das propriedades, como as tensões normais de ruptura, os módulos de resiliência e de tenacidade. O procedimento, foi elaborado de acordo com as pesquisas de Papini (2003) e de Hannickel *et al.* (2012), que utilizaram esse método, para obter medidas de diâmetros de partículas e de áreas.

Devido a variabilidade dimensional dos cordões do tecido de juta, neste trabalho, foi necessário elaborar um estudo específico para determinar as suas áreas. No estudo, foi considerado que: a área de um corpo-de-prova do tecido de juta, corresponde a soma do total das áreas das secções dos cordões; a quantidade de cordões nos dois sentidos da malha do tecido de juta, são diferentes; e pelo fato da largura do corpo-de-prova medir 40 mm, o lado dos urdumes ficou com 9 (nove) cordões e o das tramas, ficou com 8 (oito) cordões. Em vista dessas considerações, foram, preparados corpos-de-prova, para avaliação do comportamento mecânico do tecido de juta, nas duas direções.

O estudo foi desenvolvido no laboratório LEM – UFAM, para o que, foi utilizado uma lupa microscópica de marca Carl Zeiss Jena, que possui uma escala interna de 1:10, conforme imagem (a) da Figura 31. As imagens capturadas na microscopia óptica, foram tratadas no programa de processamento e análise de imagens digitais IMAGEM J, conforme descrito por Hannickel *et al.* (2012), onde foi possível demarcar o contorno do perímetro das secções, e então determinar as respectivas áreas, como pode ser visto na imagem (b) a baixo.

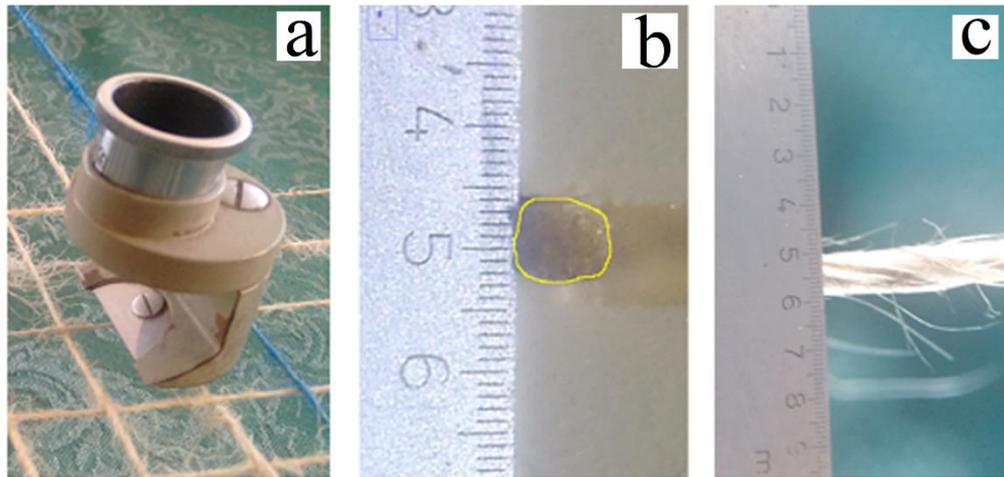


Figura 31: método de microscopia óptica, microscópio (a), demarcação da secção (b) e espessura (c).
Fonte: autor.

No total, foram determinadas 17 (dezesete) áreas de secção de cordões, sendo 9 (nove) na direção dos urdumes e 8 (oito), na direção das tramas. O resultado do estudo, correspondeu a média de cada lado, os quais, constam nas análises dos ensaios para a caracterização, do tecido de juta.

3.2.7.3 *Determinação das Propriedades mecânicas do tecido de juta*

Para calcular a tensão máxima no momento de ruptura do tecido de juta ($\sigma_{máx}$) foi utilizada a seguinte expressão:

$$\sigma_{máx} = \frac{C_{máx}}{\sum A} \quad \therefore \quad \sum A = \sum Au \text{ (urdumes) ou } \sum At \text{ (tramas)} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo:

$\sigma_{máx}$ = tensão máxima no momento de ruptura do tecido de juta em MPa;

$C_{máx}$ = carga aplicada no momento de ruptura do tecido de juta em kN;

ΣA = somatória das áreas dos cordões conforme o sentido do tecido de juta em mm².

A deformação linear foi obtida, mediante os deslocamentos lineares (ℓf) constantes no relatório dos ensaios de tração direta, aplicando-se a seguinte expressão:

$$\varepsilon_{\ell} = \frac{\Delta \ell}{\ell i} \quad \therefore \quad \Delta \ell = \ell f - \ell i \quad \text{Equação 3 e 4}$$

Onde:

ε_{ℓ} = deformação linear, adimensional;

ℓi = comprimento inicial do corpo de prova, antes dos ensaios, expresso em mm;

ℓf = comprimento final, do corpo-de-prova, após tracionado;

O módulo de resiliência (U_r), foi calculado considerando as deformações e tensões, que ocorreram no regime elástico, até o limite da proporcionalidade, conforme a expressão:

$$U_r = \sum_0^{ep} \sigma_e \cdot \varepsilon_e \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

U_r = resiliência à tração, expressa em J/m³;

σ_e = tensões no regime elástico, expresso em MPa;

ε_e = deformações no regime elástico;

ε_p = deformação no limite da proporcionalidade, antes do rompimento.

O módulo de tenacidade à tração (U_t), foi determinado considerando as deformações e tensões, que ocorreram nos regimes elástico e plástico, e que provocaram trações nas fibras dos corpos-de-prova até o limite de suas rupturas, de acordo com a expressão a baixo:

$$U_t = \sum_0^{ee} \sigma_e \cdot \varepsilon_e + \sum_{ee}^{er} \sigma_r \cdot \varepsilon_r \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

U_t = tenacidade à tração direta, expressa em J/m³;

σ_e = tensões no regime elástico, no limite da proporcionalidade, expresso em MPa;

σ_r = tensões no regime plástico, até o limite da ruptura, expresso em MPa;

ε_e = deformações no regime elástico, no limite da proporcionalidade;

ε_r = deformações no regime plástico, até o limite da ruptura.

3.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo, inicialmente é apresentado os procedimentos para a produção de partículas de pó de brita, em seguida são apresentados os estudos voltados ao desenvolvimento da armadura têxtil, da matriz cimentícia e das placas nervuradas de amostra produzidas com o compósito. Durante cada desenvolvimento foram considerados os resultados dos ensaios físicos e mecânicos previstos no capítulo 3.2 de caracterização dos materiais e os ensaios necessários para comprovações e ou para caracterizações dos produtos desenvolvidos neste trabalho.

3.3.1 *Produção de partículas*

A produção de partículas, foi incluída nos procedimentos experimentais deste trabalho, pelo fato de não existirem no mercado, as faixas de granulometria desejadas desse material. Portanto, foi necessário produzi-las a partir do pó de brita. A seguir, estão descritas as justificativas em relação determinação das granulações e os processos de moagem e de peneiramento, para produção das partículas.

O pó de brita, é um material derivado de um processo de britagem, voltado para a produção e fornecimento de agregados graúdos, conforme são fornecidas as britas, para o mercado da construção civil. A sua utilização encontra emprego na fabricação de pré-moldados como agregado miúdo, na confecção de argamassa para assentamento e emboço, após peneirado e nas usinas de asfalto como pedrisco estabilizador de solo (EBAM, 2018).

A NBR 7211 (2009) “fixa as características exigíveis na recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos, de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes do britamento de rochas e destinados à produção de concretos.” Para essa finalidade, a norma define agregado miúdo como, areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm (NBR 7211, 2009).

Segundo essa definição, a faixa granulométrica dos agregados finos, considerada neste trabalho, não foge das recomendações da norma, abrangendo desde o tamanho máximo abaixo de 425 μm , até as faixas com dimensões a cima de 75 μm . O principal motivo, para o emprego dessas faixas granulométricas, que abrangem somente agregados finos, deve-se as aberturas da tela (malha) da armadura têxtil demonstrada na imagem (a) da Figura 32 e da espessura da parte mais estreita da forma colaborante, demonstrada na imagem (b).

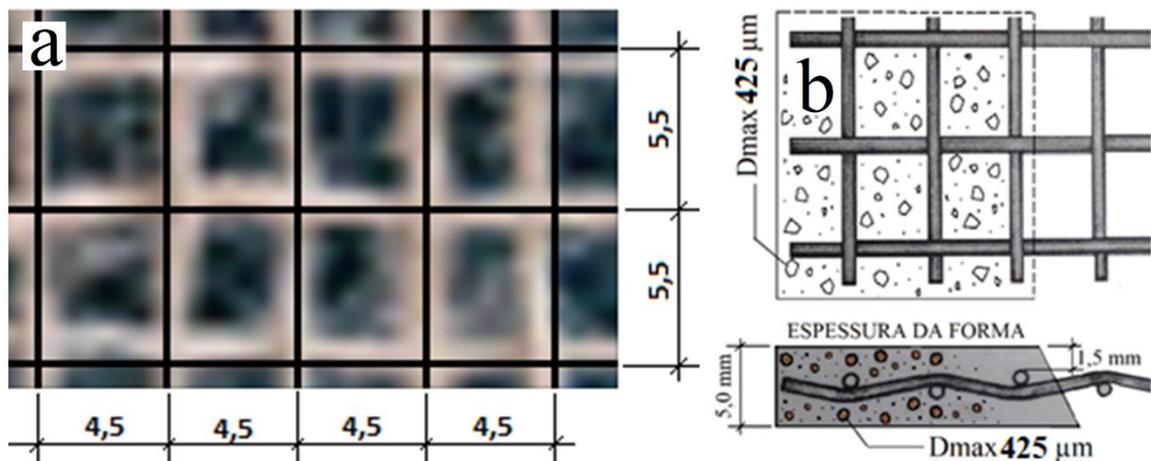


Figura 32: abertura da malha da armadura têxtil (a) e seção da espessura mais estreita da forma colaborante (b).
Fonte: autor.

A NBR 11173, (1990) que fixa as condições exigíveis para o projeto, execução e controle de peças e obras de argamassa armada, excluídas aquelas em que se empregue argamassa leve ou outras especiais, recomenda para os agregados miúdos que a dimensão máxima característica não deve ser superior a:

- 1/4 (um quarto) da menor espessura da peça;
- 1/2 (a metade) da menor abertura da tela (NBR 11173, 1990).

Dentro dessas condicionantes, recomendadas pela norma e considerando a menor abertura da malha do tecido de juta, que é 4,5 mm, de acordo com a Figura 32, a medida para o D_{max} seria menor que 1,25 mm, correspondente ao material que passa na peneira com abertura de 1,19 mm (peneira mais próxima) e que fica retido na peneira com abertura de 0,85 mm. Entretanto, foi adotado um D_{max} de 425 μm , menor que a calculada pela norma, correspondente ao material que passa na peneira de abertura 0,425 mm e que fica retido na peneira de abertura de 0,25 mm.

A adoção do agregado com D_{max} de 425 μm , levou em consideração as irregularidades nas tramas e urdumes, que em determinadas áreas do tecido de juta se encontram com aberturas mais estreitas e em outras mais largas do que o especificado. Também devido ao processo de impregnação do tecido de juta com resina epóxi, afim de transforma-la em armadura têxtil, o que, cria uma camada impermeabilizadora que envolve os cordões do tecido, aumentando a sua espessura para aproximadamente 2 mm e como consequência, reduz a medida da abertura do tecido de juta para 2,5 mm.

3.3.1.1 Procedimento de moagem

Para reduzir os tamanhos das partículas do pó de brita nas granulações especificadas, foram utilizados os seguintes equipamentos demonstrados na Figura 33: uma estufa (a), uma balança digital (b) e um moinho de bolas (c) e (d), com capacidade para 7,5 quilos de material, instalados no laboratório de nano tecnologia do IFAM, e no laboratório LEM da UFAM



Figura 33: estufa com pó de brita (a), balança com bolas (b), jarro (c) e moinho de bolas (d).

Fonte: autor.

A sequência dos procedimentos de moagem do pó de brita, para reduzi à partículas menores, estão relacionadas abaixo:

- O pó de brita foi espalhado para pré-secagem no piso protegido por plástico, por uma semana;
- O material pré-seco, foi parcelado em porções de 1 (um) quilo e colocado em bandejas;
- As bandejas foram colocadas dentro de estufas na temperatura $110 \pm 10^{\circ}\text{C}$ por um período de 24 horas;
- Decorridos as 24 horas, foram retiradas e deixadas para resfriamento em ambiente com controle de temperatura e umidade;
- O volume de material seco e resfriado correspondente a 1 (um) quilo, foi colocado dentro do jarro de porcelana do moinho de bolas;
- No moinho de bolas foram colocadas aproximadamente 3 (três) quilos de bolas de cerâmicas, correspondendo a 20 bolas de $\text{Ø} 50 \text{ mm}$ e 30 bolas de $\text{Ø} 30 \text{ mm}$;
- o tempo de moagem foi de 15 minutos para cada quilo de material;
- o material moído, foi retirado do jarro juntamente com as bolas;

- o material depois de separado das bolas, seguiram para o procedimento de peneiramento.

3.3.1.2 Procedimento de peneiramento

O pó de brita fornecido pela EBAM, possui uma parcela entre 20 a 25%, das partículas na granulometria especificada para este trabalho, portanto, esse material após pré-secos, secos em estufas e resfriados, foram peneirados em agitador, por um período de tempo de 3 (três) minutos. O agitador elétrico de marca Abrozinox, instalado no laboratório do IFAM, foi equipado com peneiras de abertura 600, 425, 250, 180, 106 μm , tampa e o fundo. A Figura 34, demonstra o jogo de peneiras, o agitador com as peneiras montadas.

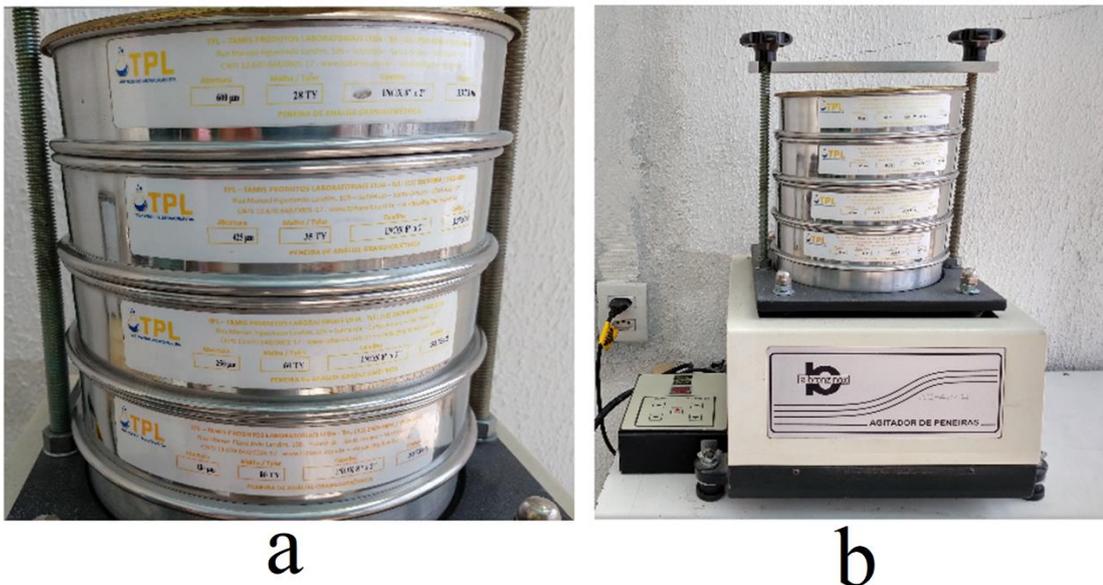


Figura 34: Jogo peneiras e agitador elétrico do procedimento de peneiramento.
Fonte: autor.

Após os 3 (três) minutos de agitação, os materiais retidos nas peneiras de abertura de 250 e de 106 μm , foram embalados em frascos hermeticamente fechados. E os materiais retidos nas peneiras 600, 425 e 180 μm , retornaram para o procedimento de moagem, para reprocessamento.

A finalidade desses dois procedimentos, foi o fornecimento dos volumes necessários das partículas de pó de brita, nas granulometrias especificadas para o desenvolvimento da matriz cimentícia.

3.3.2 *Desenvolvimento da armadura têxtil*

Resumidamente, para transformar o tecido de juta em armadura têxtil, foi idealizado um dispositivo, baseado no trabalho de Melo Filho, (2005), com a finalidade inicial, de funcionar como suporte para fixação do tecido. No qual, também foi possível, aplicar controladamente, uma força de tração diretamente, em cada cordão da malha, que promoveu um estiramento de 1,5 mm, equivalente a uma tensão admissível, para que não houvessem rompimentos, durante o procedimento de pré-tração. Essa tensão foi determinada previamente no ensaio de tração direta do tecido de juta, para caracterização do material.

O tecido de juta, fixado e pré-tracionado, foi imerso numa bandeja metálica contendo resina de epóxi, por um período de tempo, de 5 (cinco) minutos que foi determinado previamente, em estudos de absorção da resina pelo tecido de juta. Concluindo assim, após os ensaios físicos e mecânicos, o processo de transformação do tecido em armadura têxtil. Os procedimentos de pré-tração e de impregnação relatados, são detalhados na sequência deste capítulo.

Antes de prosseguir na descrição do desenvolvimento da armadura têxtil, é importante esclarecer, que, o dispositivo além de servir como suporte de fixação, de auxiliar nos processos de pré-tração e de impregnação, também, fez parte da forma de moldagem da matriz cimentícia da forma colaborante. Dessa maneira, o dispositivo possibilitou que o tecido de juta, além de impregnado, fosse também concretado, ainda pré-tensionado. Todo esse artifício, promoveu uma protensão na armadura, após o endurecimento da matriz, e depois que os cordões foram aliviados durante a desforma. Essas afirmações são comprovadas, nos resultados dos ensaios de tração na flexão das placas cimentícias da forma colaborante.

3.3.2.1 *Dispositivo de Fixação.*

De acordo com a Figura 35, o dispositivo de fixação é composto por um quadro de perfil metálico dobrado tipo “u” de 3x1 1/2”, medindo internamente 50x50 cm, com furos-guias nas laterais de Ø 1/4”, equidistantes 5,5 mm nas posições das tramas e de 4,5 mm nas posições dos urdumes da malha do tecido de juta. Os furos-guias, funcionaram como alojamentos de esticadores, que são, barras roscadas com diâmetro de Ø 3/16 x 1 1/4” de comprimento, os quais, possuem porcas sextavas e furos nas pontas.

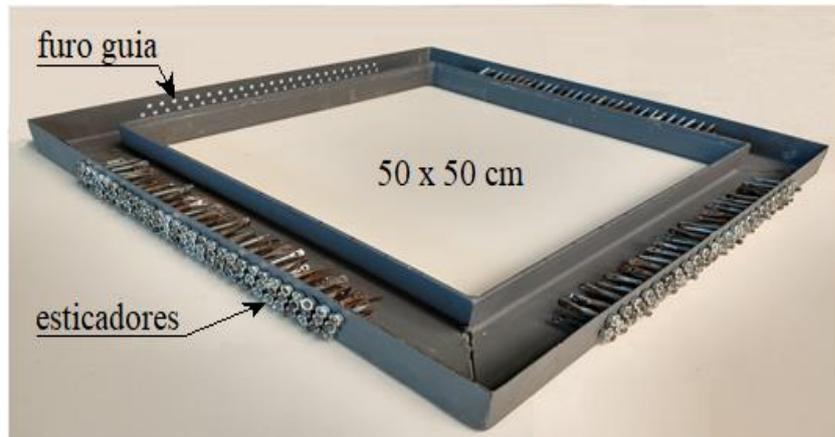


Figura 35: dispositivo de fixação do tecido de juta.
Fonte: autor

3.3.2.2 Procedimento para Fixação.

Antes da fixação no dispositivo, o tecido de juta foi cortado no tamanho de 100x100 cm e suas 4 (quatro) bordas foram desfiadas, ficando livre, as pontas dos cordões na medida de 30 cm em cada lado do tecido. No procedimento, para fixação do tecido no dispositivo, as pontas dos cordões, foram transpassadas e amarradas por meio de nós, nos furos nas pontas dos esticadores, que se encontravam alojados nos furos-guias das laterais do dispositivo. Para concluir os procedimentos para fixação do tecido de juta no dispositivo, os cordões foram esticados com apertos leves, aplicados nas porcas dos esticadores, o suficiente para o tecido ficar estendido. Na Figura 36, é mostrado o tecido em processo de fixação na imagem (a) e depois de fixado na imagem (b).

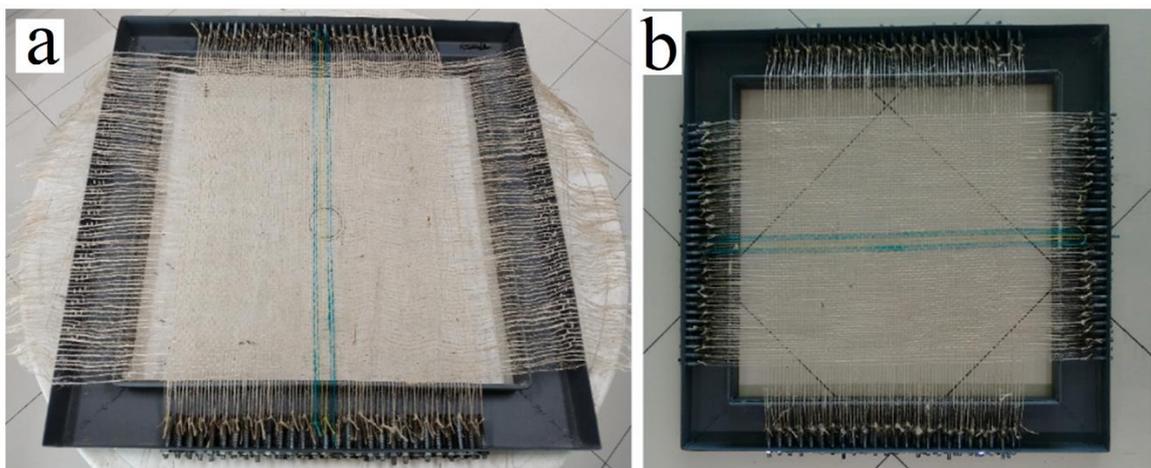


Figura 36: processo de fixação do tecido de juta no dispositivo (a) tecido fixado (b).
Fonte: autor.

3.3.2.3 Procedimento de pré-tração.

O procedimento de tensionamento dos cordões, para provocar uma pré-tração na malha do tecido de juta, foi efetuado no próprio dispositivo de fixação, esticando-se os cordões por meio dos esticadores, até o limite determinado de 1,5 mm, no sentido de que, não ocorressem rompimentos e para que o tecido de juta ficasse bem tencionado. O limite da pré-tração, foi definido na caracterização do material, considerando os resultados dos ensaios de tração direta, que foram efetuados em amostras de tecido de juta.

Operacionalmente, o limite se resumiu a uma marca, igual a um traço, feito no cordão com um pincel atômico de ponta fina, para o controle visual, indicando até que ponto os cordões poderiam ser tracionados, conforme demonstrado na Figura 37. Esclarecendo, que a distância limite de estiramento do cordão, de 1,5 mm, foi em função da média dos deslocamentos máximos (entre urdumes e tramas) obtidos durante os ensaios de tração direta, referido.



Figura 37: secção do dispositivo de fixação - aplicação da força de pré-tração.
Fonte: autor

3.3.2.4 Procedimento de Impregnação.

Nos procedimentos de impregnação, a resina de epóxi, além revestir os cordões do tecido de juta, também promoveu a colagem entre suas fibras. No entanto a principal finalidade desse procedimento, foi isolar o tecido de juta, para que, o mesmo não sofresse com as reações químicas deletéria, que ocorrem dentro das matrizes cimentícias, devido ao hidróxido de cálcio, que tende a mineralizar as fibras vegetais.

Durante os procedimentos, o dispositivo de fixação foi utilizado, para que, a impregnação fosse efetuada com o tecido de juta fixado e pré-tensionado. Para isso, o

dispositivo foi posicionado, dentro de uma bandeja quadrada de 90 cm, em chapa galvanizada, com o lado do tecido voltado pra o fundo da bandeja, conforme esquematizado na Figura 38. Para limitar a área de impregnação no tecido de juta, foi encaixado no interior do dispositivo de fixação, um quadro de madeira, medindo internamente 40 x 40 cm, correspondente, com a medida da placa da forma colaborante.

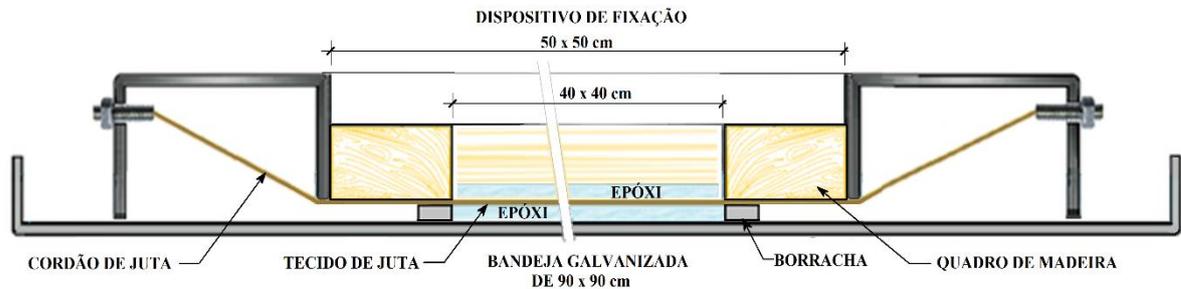


Figura 38: seção do dispositivo invertido – imersão do tecido de juta na resina de epóxi.
Fonte: autor

Após os ajustes para o posicionamento e encaixes do dispositivo de fixação, foi efetuada, a mistura dos componentes da resina, de acordo como descrito no catálogo da WEBER (2018). Inicialmente, fez-se separadamente uma pré-mistura do catalizador (Componente B) e da base (Componente A) nos próprios recipientes (latas). Depois despejou-se todo o conteúdo do catalizador no recipiente (lata) da base e misturou-se o tecbond TIX quartzolit por, no mínimo, 3 minutos, com o uso de uma espátula metálica, até que se obtivesse uma coloração uniforme.

Imediatamente, após a homogeneização da mistura da parte A, com a parte B da resina epóxi, o material misturado foi despejado sobre o tecido de juta, até que o mesmo ficasse totalmente imerso, por um período de tempo de 5 minutos. O período de tempo de imersão, para que ocorresse a absorção de resina, pelos tecido de juta, foi previamente definido, em ensaios específicos, descrito mais adiante neste capítulo em 3.3.2.5.1. A Figura 39, mostra, a resina de epóxi sendo despejada sobre o tecido de juta na imagem (a) e depois, quando estava imerso na imagem (b).

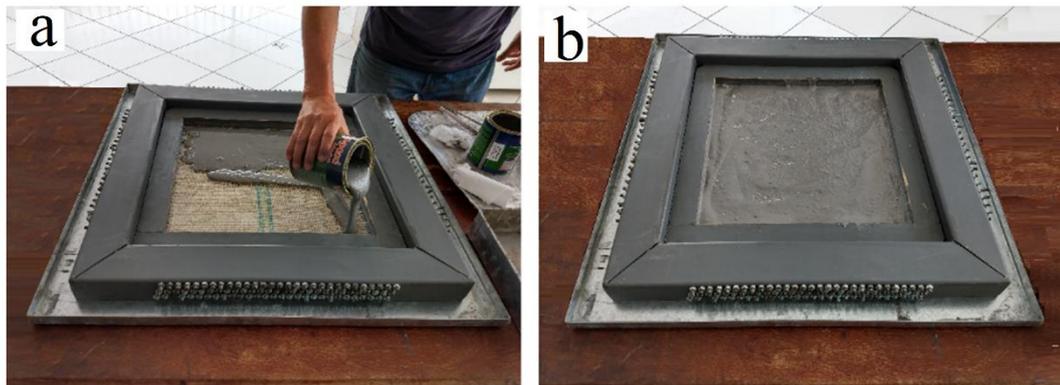


Figura 39: procedimento de impregnação do tecido de juta com resina epóxi.
Fonte: autor

Decorrido o tempo de absorção de 5 minutos, o dispositivo de fixação foi erguido, para promover a emersão do tecido de juta, do interior da resina de epóxi e para que, o excesso escorresse apenas pela ação da gravidade. No entanto, devido algumas fibras dos cordões do tecido de juta, serem soltas e entrelaçadas com a malha, ocorreram empecilhos, e retenções, fazendo com que, a resina de epóxi fechasse algumas das aberturas. Essa ocorrência foi verificada previamente, por ocasião dos ensaios para determinar o tempo de absorção da resina epóxi, por esse motivo, o procedimento para a desobstrução, foi introduzido neste trabalho.

O procedimento para desobstrução das aberturas da malha do tecido de juta, foi efetuado por intermédio da absorção por contato, para o que, foi utilizado para essa finalidade papel toalha. As desobstruções das aberturas da malha do tecido de juta, ocorreram, após a conclusão da extração do excesso de resina epóxi, e da identificação dos pontos obstruídos. O procedimento consistiu inicialmente, do cobrimento do tecido impregnado, com folhas de papel toalha, da Figura 40, em seguida, do alisamento das folhas utilizando uma flanela, para forçar a absorção, conforme a imagem (a), e por fim, da retirada do papel toalha, saturado com resina epóxi, conforme demonstrado nas imagem (b).

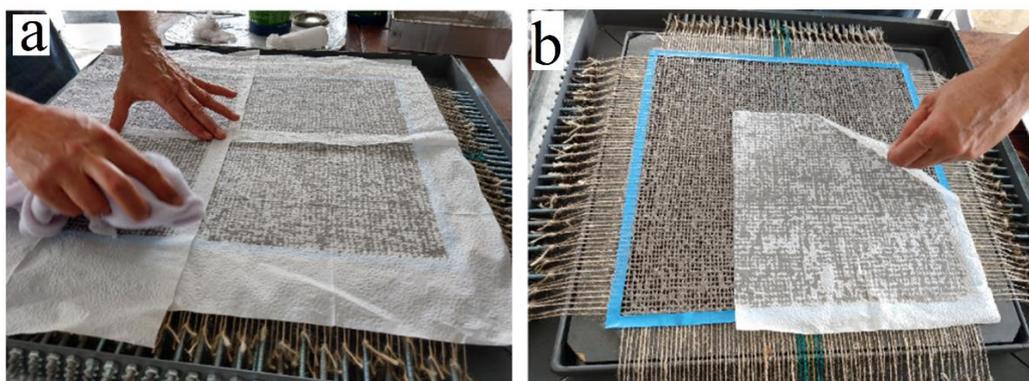


Figura 40: procedimento de desobstrução das aberturas da malha do tecido de juta.
Fonte: autor.

3.3.2.5 *Ensaaios na armadura têxtil.*

Os ensaios efetuados neste item, foram voltados inicialmente, para a determinação, do tempo de absorção da resina epóxi pelo tecido de juta, para auxiliar nos procedimentos de impregnação. Em seguida, os ensaios foram voltados para a caracterização da armadura têxtil, no tocante as propriedades de permeabilidade e da tensão da resistência máxima à tração direta.

3.3.2.5.1 *Ensaio de absorção da resina de epóxi.*

Esse ensaio, teve a finalidade de determinar o tempo necessário, para que o tecido de juta, absorvesse a resina epóxi. Essa informação, foi relevante para auxiliar nos procedimentos de impregnação do tecido de juta. O método designado para medir a absorção, foi efetuado em duas etapas, sendo uma, de impregnação, considerando um intervalo de tempo programado e a outra, pelas pesagens das amostras, tomadas antes e depois de impregnadas. Esses dados apurados durante os ensaios, permitiu o cálculo da quantidade de resina de epóxi impregnada e as respectivas percentagens, conforme a formulação abaixo:

$$\text{Percentual de resina (\%)} = \frac{Mr}{Mi} \cdot 100 \quad \therefore \quad Mr = Mi - Mn \quad \text{Equação 7 e 8}$$

onde:

Mr = Massa de resina de epóxi, expresso em g;

Mi = Massa do tecido impregnado, expresso em g;

Mn = Massa do tecido natural, expresso em g;

O tempo de absorção foi determinado, utilizando um gráfico “teor x tempo”, no qual, foi identificado o intervalo de tempo, onde a velocidade de absorção foi constante, após o que, foi adotada a mediana desse trecho, como o tempo ideal de absorção da resina de epóxi.

O ensaio de absorção, consistiu da imersão de 10 amostras de tecido de juta, em resina epóxi, contida em uma bandeja de alumínio, em seguida, das retiradas consecutivas, de duas amostra a cada tempo programado, depois, da retirada do excesso de resina empregando o método de absorção por contato, e finalmente, da pesagem das amostras, após 7 (sete) dias de cura. Nas imagens da Figura 41, são apresentados, da esquerda para direita, uma bandeja com as amostras imersas (**a**), depois, a operação de absorção por contato, utilizando papel-toalha (**b**) e uma amostra do tecido de juta impregnado transformado em armadura têxtil (**c**).

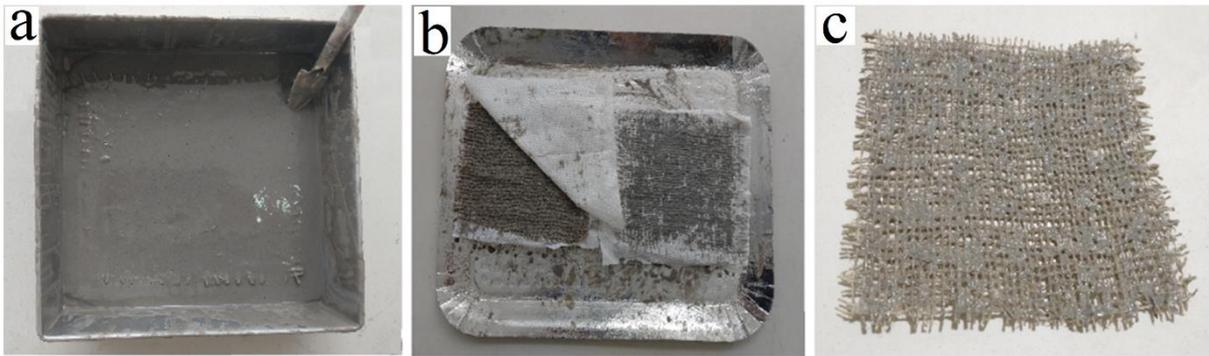


Figura 41: imagens da imersão, da retirada do excesso e da amostra do tecido de juta impregnado.
Fonte; Autor.

Os procedimentos da primeira etapa do método aplicado, estão detalhados na sequência:

- foram utilizadas, 10 (dez) amostras de tecido de juta medindo 20x20 cm (medidas adotadas em função das dimensões da mesa da balança digital);
- as amostras, foram secas em estufa elétrica, na temperatura de 60°C, por 24 horas;
- foi efetuada a pesagem da massa do tecido natural (M_n) de cada amostra, por intermédio de balança digital de precisão;
- as 10 amostras foram acondicionadas individualmente dentro da bandeja, juntamente com um suporte metálico feito de tela galvanizada, que serviu também internamente de espaçador;
- foi efetuada a mistura entre a parte A com a parte B, da resina de epóxi, preparada de acordo com o catálogo do fabricante;
- despejou-se a resina de epóxi dentro da bandeja, até o cobrimento total das amostras;
- transcorridos 1 (um) minuto de imersão, foram retiradas as duas primeiras amostras, juntamente com os respectivos suportes metálicos;
- idem, as duas segundas amostras, em 2 (dois) minutos;
- idem, as duas terceiras amostras, em 4 (quatro) minutos;
- idem, as duas quartas amostras, em 8 (oito minutos) minutos;
- idem, as duas últimas amostras, em 16 (dezesseis) minutos;
- em cada par de amostra retirada, foi feita a absorção por contato, utilizando papel-toalha para a desobstrução da malha e a retirada do excesso;

Após os ensaios, as amostras impregnadas, continuaram dispostas sobre os respectivos suportes metálicos, por um dia de secagem, na temperatura ambiente, até o enrijecimento do tecido de juta, pela resina epóxi, então, foram liberadas.

Nos procedimentos da segunda etapa do método aplicado, foram efetuadas as pesagens das amostras impregnadas, após decorridos o tempo de 7 (sete) dias de cura, indicado pelo

fabricante para a perda total do material volátil. A pesagem realizada após a impregnação, teve a finalidade de determinar a massa do tecido impregnado (M_i), correlacionado com o tempo programado de imersão.

3.3.2.5.2 *Ensaio de permeabilidade da armadura têxtil.*

Esse ensaio, teve a finalidade de verificar se a camada protetora de resina epóxi, impermeabilizou os cordões do tecido de juta, atribuindo-lhes passividade com relação as reações do hidróxido de cálcio do cimento, que mineralizam as fibras ao longo do tempo. Neste trabalho, foi empregado o método utilizado por Portela (2016), que efetuou ensaios de absorção de água por períodos de tempo, e a determinação percentual de água absorvida pelas amostras de tecidos, por meio de pesagem, conforme a expressão:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{Pf - Pi}{Pi} \quad \therefore \quad Pf = Pa - Ps \quad \text{Equação 9 e 10}$$

onde:

Pf = Peso final após imersão, expresso em g;

Pi = Peso inicial seco, expresso em g;

Ps = Peso do suporte metálico (específico para o tecido de juta), expresso em g;

Pa = Peso da amostra + Ps (específico para o tecido de juta), expresso em g;

Neste trabalho, o método referido, foi empregado em duas ocasiões, sendo uma, para determinar o percentual de absorção de água pelo tecido de juta, sem impregnação e a outra, para determinar o percentual de água absorvida pela armadura têxtil (tecido impregnado). A avaliação e a escolha do tempo ideal de absorção de água, foi por intermédio de comparações, feitas entre os dois ensaios, o que, foi facilmente identificado graficamente.

Seguindo o método, na primeira parte, foi efetuado o ensaio de absorção de água, pelas amostras de tecido de juta, que consistiu da imersão das amostras em uma bandeja plástica, contendo água, por um período de tempo de 24 horas. Para facilitar no manuseio das amostras do tecido de juta, quando estivessem molhados, foi utilizado um suporte metálico, feito de tela galvanizada do mesmo tamanho das amostras. Esse suporte metálico, também serviu com espaçador, no acondicionamento das amostras dentro da bandeja plástica. A Figura 42, mostra os utensílios e equipamento utilizados durante o procedimento.



Figura 42: materiais, utensílios e equipamento utilizados durante o procedimento de permeabilidade.
Fonte; Autor.

Conforme demonstrado na Figura 42, estão dispostos da esquerda pra direita, o suporte metálico, medindo 20x20 cm (tela galvanizada), as 10 amostras, acondicionadas dentro de uma bandeja de alumínio de 25x25 cm, a balança digital, a bandeja plástica, na sequência disposto a baixo na figura, duas flanelas e um rolo de filme de PVC.

Os procedimentos para os ensaios de absorção de água pelo tecido de juta, estão apresentados a seguir:

- Foram utilizadas 10 (dez) amostras de tecido de juta natural, medindo 200 x 200 mm (medidas em função da bandeja da balança digital).
- Foi efetuado a secagem das amostras em estufa a 60° C, até chegar ao peso constante;
- As amostras foram retiradas da estufa e resfriadas em um dessecador na temperatura ambiente dos ensaios;
- Foram efetuadas as pesagens das 10 amostras após resfriadas;
- As amostras foram dispostas sobre os suportes metálicos e acondicionadas individualmente, dentro da bandeja de alumínio.
- Foi despejado água destilada, dentro da bandeja até o cobrimento das 10 (dez) amostras, por um período de tempo de 24 horas;
- Após transcorridos 24 horas, cada amostra, foi retirada da bandeja, juntamente com seu respectivo suporte metálico, para que, a água escorresse livremente;
- Para eliminar o excesso de água adsorvidas pela superfície do tecido de juta, foi utilizado, uma flanela umedecida, para fazer a absorção por meio de contato.
- No final do procedimento anterior, imediatamente, foi efetuada a pesagem de cada amostra, juntamente com o suporte metálico;

As imagens da Figura 43, mostram as etapas do procedimento, do ensaio de absorção de água, pelo tecido de juta. Na primeira imagem (**a**), observa-se as amostras imersas na

bandeja, contendo água, na segunda (b) mostra, o tecido molhado sobre o suporte metálico e na flanela, durante a retirada do excesso de água e na terceira (c), mostra a etapa de pesagem.

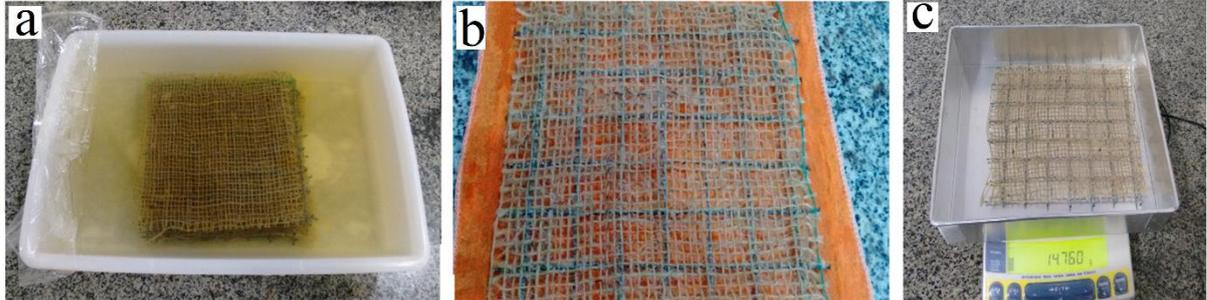


Figura 43: Etapas de imersão (a), retirada do excesso (b) e pesagem (c), do ensaio de absorção de água.
Fonte: Autor.

Dando continuidade a explicação do método aplicado, a segunda parte, consistiu da determinação do percentual de água absorvida pela armadura têxtil. O procedimento foi semelhante à da primeira parte, que utilizou também 10 amostras, depois que foram impregnadas, durante os ensaios de absorção da resina de epóxi. O ensaio consistiu, da imersão das amostras em uma bandeja plástica, contendo água, por um período de tempo de 24 horas.

Os materiais e equipamentos foram os mesmos utilizados anteriormente, com exceção do suporte metálico, que pelo motivo da armadura têxtil ser rígida, não houve a necessidade da sua utilização. Os procedimentos para os ensaios de absorção de água pela armadura têxtil, estão apresentados a seguir:

- Foram utilizadas 10 (dez) amostras de armadura têxtil, medindo 200 x 200 mm (medidas em função da bandeja da balança digital).
- Foi efetuado a secagem das amostras em estufa a 60° C, até chegar ao peso constante;
- As amostras foram retiradas da estufa e resfriadas em um dessecador na temperatura ambiente dos ensaios;
- Foram efetuadas as pesagens das 10 amostras após resfriadas;
- As amostras foram acondicionadas individualmente, dentro da bandeja plástica.
- Foi despejado água destilada, dentro da bandeja até o cobrimento das 10 (dez) amostras, por um período de tempo de 24 horas;
- Após transcorridos 24 horas, cada amostra, foi retirada da bandeja, para que, a água escorresse livremente;
- Para eliminar o excesso de água adsorvidas pela superfície da armadura têxtil, foi utilizado, uma flanela umedecida, para fazer a absorção por meio de contato;
- O procedimento foi finalizado com a pesagem de cada amostra.

3.3.2.5.3 Ensaio de tração direta na armadura têxtil.

Os ensaios de tração direta, foram efetuados neste trabalho, visando a caracterização da armadura têxtil, com relação as novas propriedades mecânicas, que foram adquiridas pelo tecido de juta, após impregnado. O método utilizado nesses ensaios, está prescrito na norma (NBR 7481, 1990), voltado para tela soldadas para estrutura de concreto.

Nesses ensaios, foram utilizados 8 (oito) corpos-de-prova de armadura têxtil, sendo, 4 (quatro) no sentido das tramas, contendo 8 (oito) cordões e 4 (quatro) no sentido dos urdumes, contendo 9 (nove) cordões. Os corpos-de-prova, mediam 40x200 mm e foram dimensionados, em função das medidas das garras do dispositivo de tração. Nas extremidades dos corpos-de-prova, foram adaptadas placas metálicas coladas com resina de epóxi (Sikadur 32), para possibilitar um encaixe adequado nas garras. Esse artifício, foi baseado nas pesquisas de (LIMA, 2004) e de (MELO FILHO, 2005).

O dispositivo utilizado nos ensaios de tração direta, foi o modelo AME-5kN da marca Oswaldo Filizola, que tem a capacidade máxima de 5000 N, o qual, está instalado no Laboratório LAMAC – UFAM. Trata-se de um equipamento elétrico, com comando computadorizado, que possui o programa DynaView Pro M, o qual, forneceu os relatórios com os resultados, no qual, também, foi programado a velocidade dos ensaios e de tensionamento de 0,3 N/s. A Figura 44, mostra o dispositivo utilizado nos ensaios de tração, na imagem (a), um corpo-de-prova montado nas garras de apoio, na imagem (b) e na imagem (c) sua composição e dimensões.

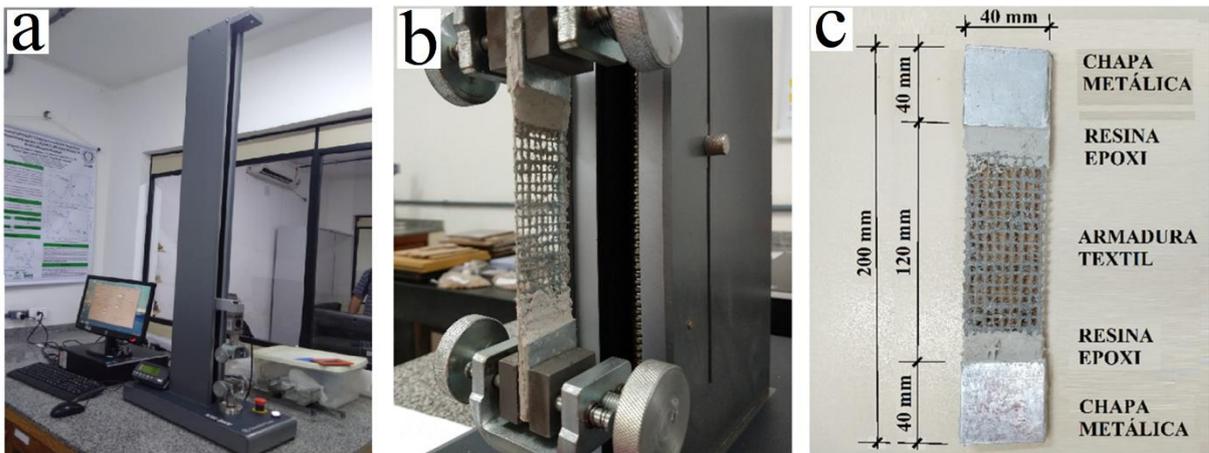


Figura 44: Dispositivo de tração (a), corpo-de-prova montado nas garras (b) e dimensões do corpo-de-prova (c).
Fonte: Autor

A execução dos ensaios foram relativamente simples, consistiram, na solicitação do corpo-de-prova, a esforços normais de tração até a ruptura, para a determinação das seguintes propriedades mecânicas:

- limite de resistência à tração (σ_t), expresso em MPa;
- módulo de resiliência (U_r), expresso em kJ/m^3
- módulo de tenacidade (U_t), expresso em kJ/m^3

A armadura têxtil, no compósito da forma colaborante cimentícia, tem a função de reforçar a zona tracionada dos painéis, por isso, foi relevante o reconhecimento, dessas propriedades. Para saber, o que foi agregado, quanto a impregnação, contribuiu para essas propriedades adquiridas pela armadura têxtil. Por essa razão, os resultados desses ensaios, foram confrontados com os resultados da caracterização do tecido de juta, e se encontram tabelados nas análises dos ensaios tração direta na armadura têxtil, apresentados no capítulo 4.2 (resultados dos procedimentos experimentais).

Os valores correspondentes ao comportamento mecânico, constantes no relatório dos ensaios de tração direta, foram utilizados em formulações, para que, fossem determinadas as referidas propriedades, conforme apresentado na sequência.

A resistência máxima à tração (σ_t), foi calculada, até o limite da ruptura das fibras, ou quando os valores das cargas aplicadas foram muito baixas, utilizando a seguinte expressão:

$$\sigma_t = \frac{C_{max}}{\sum A} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

σ_t = Tensão de resistência à tração, expresso em MPa

C_{max} = cargas máxima, que constam nos relatórios de tração direta, expressa em N;

$\sum A$ = soma das áreas dos cordões impregnados, expresso em mm^2 ;

A deformação linear foi determinada, para possibilitar a plotagem do gráfico “tensão x deformação”, e para a calcular os módulos de resiliência e de tenacidade. Foi obtida, mediante os deslocamentos lineares (ℓf) constantes no relatório dos ensaios de tração direta, aplicando-se a seguinte expressão:

$$\epsilon_\ell = \frac{\Delta \ell}{\ell i} \quad \therefore \quad \Delta \ell = \ell f - \ell i \quad \text{Equação 12 e 13}$$

Onde:

ε_l = deformação linear, adimensional;

l_i = comprimento inicial do corpo de prova, antes dos ensaios, expresso em mm;

l_f = comprimento final, do corpo-de-prova, após tracionado, expresso em mm;

O módulo de resiliência (U_r), foi calculado considerando as deformações e tensões, que ocorreram no regime elástico, até o limite da proporcionalidade, conforme a expressão:

$$U_r = \sum_0^{\varepsilon_p} \sigma_e \cdot \varepsilon_e \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

U_r = resiliência à tração, expressa em J/m³;

σ_e = tensões no regime elástico, expresso em MPa;

ε_e = deformações no regime elástico;

ε_p = deformação no limite da proporcionalidade, antes do rompimento.

O módulo de tenacidade à tração (U_t), foi determinado considerando as deformações e tensões, que ocorreram nos regimes elástico e plástico, e que provocaram trações nas fibras dos corpos-de-prova até o limite de suas rupturas, de acordo com a expressão a baixo:

$$U_t = \sum_0^{\varepsilon_e} \sigma_e \cdot \varepsilon_e + \sum_{\varepsilon_e}^{\varepsilon_r} \sigma_r \cdot \varepsilon_r \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

U_t = tenacidade à tração direta, expressa em J/m³;

σ_e = tensões no regime elástico, no limite da proporcionalidade, expresso em MPa;

σ_r = tensões no regime plástico, até o limite da ruptura, expresso em MPa;

ε_e = deformações no regime elástico, no limite da proporcionalidade;

ε_r = deformações no regime plástico, até o limite da ruptura.

3.3.2.5.4 Determinação da área média da secção da armadura têxtil:

Para possibilitar os cálculos das tensões de resistência à tração (σ_t), além das cargas e dos deslocamentos constantes nos relatórios dos ensaios, foi necessário determinar a área média da secção dos corpos-de-prova da armadura têxtil. Devido ao fato, da grande variabilidade dimensional, das secções dos cordões, foi necessário elaborar um estudo específico para essa determinação.

No estudo, foi considerado que: a área de um corpo-de-prova da armadura têxtil, corresponde a soma do total das áreas das secções dos cordões impregnados; a quantidade de cordões nos dois sentidos da malha da armadura têxtil, são diferentes; e devido a largura do corpo-de-prova medir 40 mm, o lado dos urdumes ficou com 9 (nove) cordões e o das tramas, ficou com 8 (oito) cordões. Em vista dessas considerações, foram, preparados corpos-de-prova, para avaliação do comportamento mecânico da armadura têxtil, nas duas direções.

Para medir a secção dos cordões, foi empregado o método de microscopia óptica, para o que, foi utilizado uma lupa microscópica de marca Carl Zeiss Jena imagem (a) da Figura 45, do laboratório LEM – UFAM, que possui uma escala interna em décimo de milímetro e que possibilitou a obtenção das medidas e a captura de imagens numa ampliação de 10 vezes. A escala interna da lupa microscópica, compreende 10 mm e cada traço corresponde a 0,1 mm, conforme demonstrado nas imagens (b) e (c) da Figura 45.

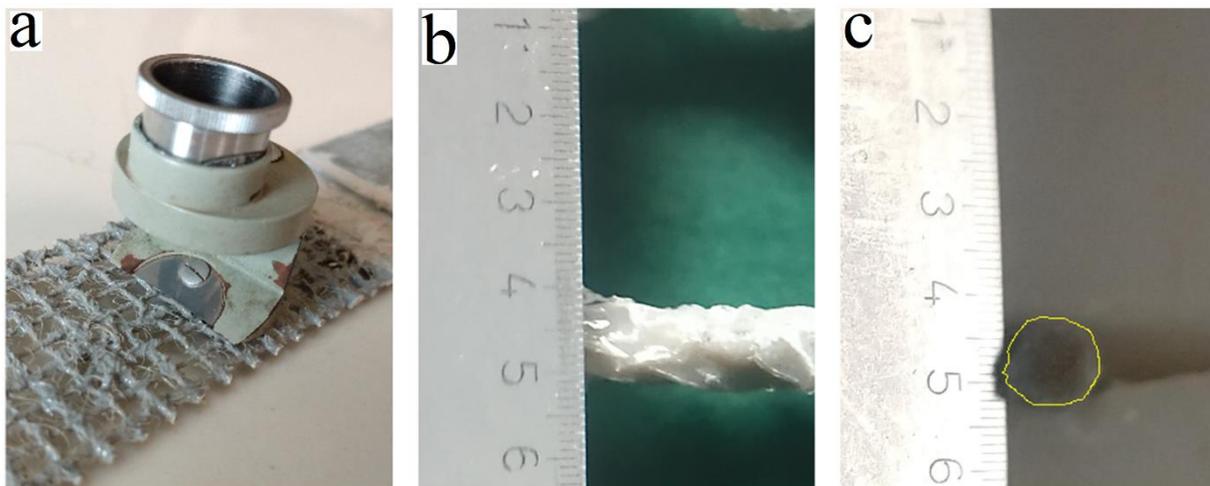


Figura 45: microscópio (a), medição de espessura (b) e marcação da secção transversal no IMAGEM J (c)
Fonte: autor.

As imagens capturadas na microscopia óptica, foram tratadas no programa IMAGEM J, onde foi possível demarcar o contorno do perímetro das secções, e então determinar as respectivas áreas, como pode ser visto na imagem (c) da Figura 45.

No total, foram determinadas 17 (dezesete) áreas de secção de cordões, sendo 9 (nove) na direção dos urdumes e 8 (oito), na direção das tramas. O resultado do estudo, correspondeu as médias de cada lado, os quais, constam nas análises dos resultados dos ensaios tração direta na armadura têxtil.

3.3.3 *Desenvolvimento da Matriz Cimentícia*

A matriz cimentícia da forma colaborante foi desenvolvida, para que no estado fresco, alcançasse o comportamento de autoadensabilidade com alta fluidez, no intuito de possibilitar seu livre escoamento por entre os cordões da amadura têxtil. Também foi desenvolvida, para que no estado endurecido, apresentasse alta resistência e reduzida permeabilidade. No desenvolvimento dessas habilidades na matriz cimentícia, foi empregado um método de dosagem experimental, que segundo Piovezam *et al.*, (2006), já foi utilizado por reconhecidos pesquisadores, o qual se desenvolveu em três etapas:

- composição da pasta;
- determinação do esqueleto granular; e
- dosagem experimental.

3.3.3.1 *Composição da Pasta*

A pasta da matriz cimentícia deste trabalho, foi composta por uma mistura preparada com cimento Portland comum CP I-S 40, com aditivo superplastificante *Powerflow* 1160 a base de Policarboxilato, com sílica ativa e água. As quantidades desses constituintes, em função da massa de cimento, foram baseadas em metodologias consolidadas em outros trabalhos, (PIOVEZAM *et al.*, 2006); (MANOHAR, 2014); e por (MURTHY *et al.*, 2014), conforme relacionadas abaixo:

- relação água/cimento (*a/c*) de 0,40 kg/kg, como o limite superior;
- relação água/cimento (*a/c*) de 0,36 kg/kg, como intermediário;
- relação água/cimento (*a/c*) de 0,32 kg/kg, como o limite inferior;
- relação sílica ativa/cimento (*sa/c*) de 0,10 kg/kg, indicada pelo fabricante Tecnosil (2018);

- relação superplastificante/cimento (sp/c), conforme indicado pelo fabricante MC-Bauchemie (2018), recomendou no mínimo 0,2 e no máximo 5% em relação a massa de cimento.

No método adotado, para determinar a relação de superplastificante/cimento (sp/c), que também corresponde ao ponto de saturação do superplastificante, foram empregados os ensaios de cone de *Marsh*, de acordo com as recomendações da norma ASTM D6910-04 (2004). Também, foram empregados os ensaios de mini *slump*, para verificação visual dos aspectos da consistência da pasta, considerando a sua condição de autoadensabilidade, após alcançado o ponto de saturação do superplastificante.

Nos ensaios do cone de *Marsh*, para cada relação água/cimento (a/c) correspondentes aos limites, inferior, intermediário e superior, foram mantidas as quantidades de cimento e de sílica ativa, no preparo de cada pasta de cimento. Durante os ensaios, foram sendo acrescentado gradativamente, 0,5% de superplastificante em relação a massa de cimento até o máximo de 5%. Cada tipo de pasta depois de preparada, foram colocadas no cone de *Marsh* previamente umedecido, com o orifício de saída obstruído, pelo dedo do operador. O ensaio consistiu da cronometragem de tempo, que a pasta levou para passar pelo orifício desobstruído e preencher uma proveta graduada até atingir a marca de 500 ml.

O ponto de saturação do superplastificante, foi definido para cada pasta, como aquele ponto, além do qual, não ocorreu mais nenhuma diminuição significativa no tempo de escoamento, e o teor, foi tomado como o conteúdo máximo de superplastificante que foi usado na pasta, o que foi feito, em consonância com (MANOHAR, 2014). A Figura 46, demonstra na imagem (a), os equipamentos e utensílios usados durante os ensaios, e na imagem (b), a pasta cimentícia sendo ensaiada no cone de *Marsh*.

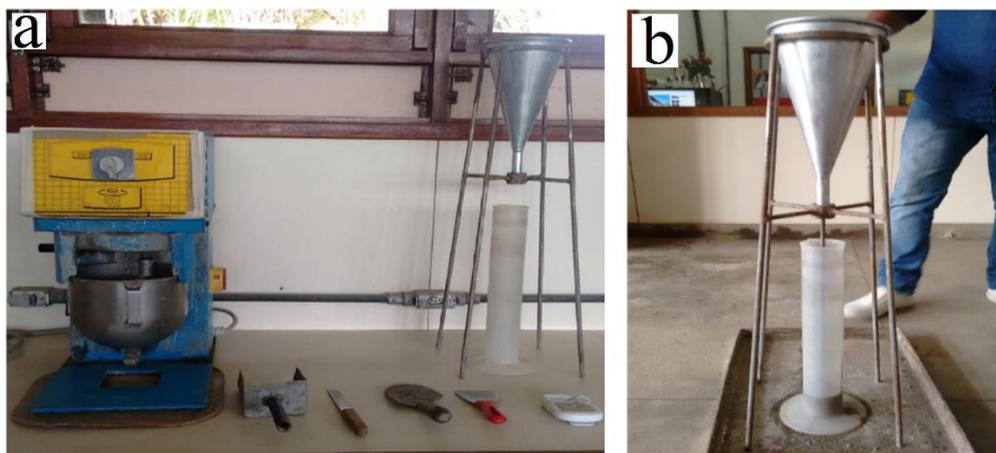


Figura 46: equipamentos e utensílios (a) e ensaio de cone de *Marsh* (b).
Fonte: Autor

Com os dados obtidos nos ensaios de cone de *Marsh*, foi possível plotar um gráfico com os teores (%) de superplastificante, e os tempos de escoamento (seg.) de cada tipo de pasta. Onde foi identificado o teor ótimo de superplastificante ou ponto de saturação, através da formação de um ângulo interno de $140^{\circ} \pm 10^{\circ}$ nas curvas-função que representam cada tipo de pasta.

Durante os ensaios, à medida que, as pastas alcançavam através do cone de *Marsh*, o ponto de saturação do superplastificante, também foram sendo efetuados, os ensaios de consistência num mini cone de *Kantro*, com a finalidade de medir o diâmetro de espalhamento máximo (D_{max}), e obter a fluidez da pasta (f), assim como, analisar visualmente os aspectos relativos a coesão, a exsudação e a sua condição de autoadensável.

Os ensaios do mini *slump*, foram efetuados nos mesmos moldes que fizeram Brasileiro; Monteiro; Moreira (2015): o mini cone de *Kantro* foi disposto sobre a placa lisa de acrílico, sendo ambos previamente umedecidos, depois foi preenchido com a pasta e levantando verticalmente, liberando a pasta que se espalhou livremente sobre a placa, mediante seu próprio peso. O espalhamento da pasta foi radial formando um círculo, que ao fim do escoamento, possibilitou que fossem efetuadas duas medidas perpendiculares do seu diâmetro, então, através do cálculo da média aritmética, foram obtidos os valores dos diâmetros máximos, de cada tipo de pasta. Para determinar a fluidez da pasta, foram utilizados o diâmetro médio do espalhamento e o diâmetro da base do mini molde de *Kantro*, e a expressão abaixo:

$$f = \frac{D}{d}$$

Equação 16

Onde:

f = fluidez da pasta;

d = diâmetro da base maior do mini molde de *Kantro* = $\varnothing 40$ mm.

A seguir estão relacionados os dispositivos e utensílios usados nos preparos e nos ensaios, para obtenção do teor de superplastificante na composição da pasta, por intermédio do seu ponto de saturação.

- dispositivo cone de *Marsh*, com um orifício de 8 mm na sua parte inferior;
- proveta plástica graduada em ml;
- cronômetro digital com alarme;
- mini *Kantro* de teflon;
- misturador de argamassa para preparo da pasta;
- utensílios para preparo da pasta;

- placa acrílica lisa e transparente, medindo 500x500x10 mm,
- folha A3 de papel milimetrado;

Os materiais utilizados nos ensaios, para a composição de cada tipo de pasta, estão relacionados na Tabela 12.

Tabela 12: Relação dos materiais componentes das pastas

MATERIAIS	TIPO DE PASTA		
	Inferior	Intermediário	Superior
Relação água/cimento (<i>a/c</i>)	0,32	0,36	0,40
Cimento Portland comum - CP I-S 40 (g)	1.200	1.200	1.200
Sílica ativa – 10 % (g)	120	120	120
Água de emassamento (g)	384	432	480
Superplastificante <i>Powerflow</i> 1160 (g)	60	54	48

Fonte: Autor.

3.3.3.2 *Determinação do Esqueleto Granular*

Para a determinação do esqueleto granular, foram inicialmente definidas as faixas granulométricas das partículas do pó de brita, do cimento Portland e da sílica ativa, que fizeram parte da composição do esqueleto granular. Depois, foram efetuados os empacotamentos compressivos binários e ternários, entre as partículas das faixas granulométricas.

3.3.3.2.1 *Definição das Faixas Granulométricas.*

Conforme justificado anteriormente, por causa das aberturas da malha da armadura têxtil e da espessura da seção mais estreita da forma colaborante, foi adotado o tamanho máximo de 425 µm para as partículas do pó de brita. A partir desse parâmetro, foi elaborado um estudo, utilizando a combinação dos Métodos de (De LARRARD, 2011), (TORALLES-CARBONARI *et al.*, 2003) e (O REILLY, 1998), que segundo Tutikian; Isaia; Helene (2011), “são baseados na otimização do esqueleto granular, preenchendo de cimento ou pasta os vazios restantes.”

No estudo, os formatos das partículas finas do pó de brita, foram consideradas como esféricas, a partir de então, foram feitos dois desenhos geométricos, correspondendo aos arranjos hipotéticos de duas possibilidades extremas de ocorrência, as quais definiram as faixas granulométricas do esqueleto granular. O primeiro arranjo, levou em conta o tamanho máximo das partículas de 425 μm , o que compreendeu uma faixa granulométrica denominada como a faixa das partículas predominantes, tendo no limite final, partículas com tamanho de 250 μm . Para o preenchimento dos vazios decorrentes do arranjo das partículas predominantes, foi determinada geometricamente a faixa granulométrica das partículas de enchimento, que compreenderam partículas com tamanhos entre 180 a 106 μm .

No segundo arranjo, a faixa das partículas predominantes foi a mesma do primeiro arranjo, compreendendo tamanhos de partículas entre 425 e 250 μm . No entanto devido a disposição das partículas predominantes no arranjo, os tamanhos das partículas da faixa de enchimento, foram menores, compreendendo partículas entre 0,075 e 0,045 μm .

Na Figura 47, são apresentadas os dois arranjos granulares resultantes dos estudos geométricos, que hipoteticamente podem compor um esqueleto granular. As partículas da faixa granulométrica predominantes estão representadas pela cor azul e as partículas da faixa granulométrica de enchimento estão representadas pela cor vermelha. A cor amarela representa as faixas granulométricas formadas pelas partículas passantes e pelas retidas nas peneiras.

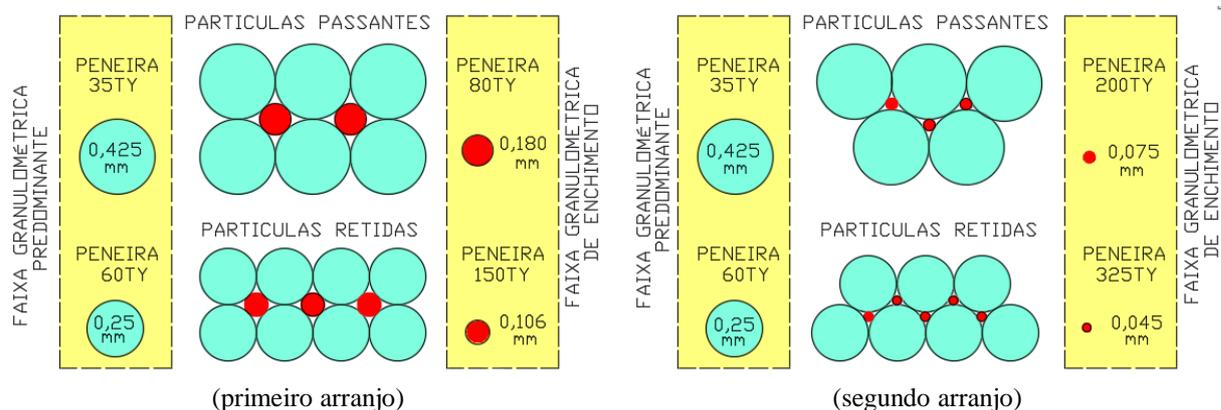


Figura 47: arranjos granulares teóricos do esqueleto granular.
Fonte: autor.

No estudo, não foram considerados os efeitos tipo paredes e nem os de afastamento entre partículas, o que é muito comum num esqueleto granular. Conforme a Figura 47, partiu-se, do princípio de um empacotamento otimizado, considerando a faixa granulométrica das partículas predominantes, formada pelas partículas passantes na peneira 35 TY, com abertura de 0,425 mm, correspondente ao diâmetro máximo adotado, e pelas partículas retidas numa peneira

imediatamente inferior, que foi a 60 TY, com abertura de 0,250 mm, correspondente ao final da faixa. Como pode ser observado na Figura 47, os dois arranjos possuem a mesma faixa granulométrica predominante.

Descrevendo ainda o estudo dos arranjos granulares, os vazios deixados pelas partículas da faixa granulométrica predominante, foram preenchidos pelas partículas das faixas granulométricas de enchimento. O primeiro arranjo, foi preenchido com faixa granulométrica das partículas de enchimento, formada pelas partículas passantes na peneira 80 TY, com abertura de 0,180 mm e pelas partículas retidas numa peneira imediatamente inferior, que foi a 50 TY, com abertura de 0,106 mm. A outra faixa granulométrica das partículas de enchimento, definida para o segundo arranjo, foi formada pelas partículas passantes na peneira 200 TY, com abertura de 0,074 mm e pelas partículas retidas na peneira 325 TY com abertura de 0,045 mm.

Esses diâmetros teóricos das partículas de enchimento, também podem ser obtidos através das expressões matemáticas seguintes:

$$D_e = [\sqrt{(D_p)^2 + (D_p)^2}] - D_p \Rightarrow \text{para o cálculo dos diâmetros teórico das partículas de enchimento do primeiro arranjo; Equação 17}$$

$$D_e = 2 [R_p (\sec^{-1} 30^\circ) - R_p] \Rightarrow \text{para o cálculo dos diâmetros teórico das partículas de enchimento do segundo arranjo; Equação 18}$$

Onde:

D_e = diâmetro das partículas de enchimento;

D_p = diâmetro das partículas predominantes;

R_p = Raio das partículas predominantes.

A sistemática deste estudo, implicou no preenchimento dos vazios do esqueleto granular formados pelas partículas predominantes, com as partículas de enchimento, conforme demonstrado nos dois arranjos otimizados da Figura 47. Para tanto, as partículas da faixa granulométrica predominante (D_p) de (0,450-0,250) mm e as da faixa de enchimento (D_e) de (0,180-0,106) mm, foram extraídas do mesmo lote de pó de brita.

Atendendo as recomendações de Richard *et al.*, (1995) com relação a interferência das partículas mais finas dos agregados, com as maiores partículas de cimento (75-45) μm , as partículas da faixa granulométrica de enchimento de (0,074-0,045) mm, representadas no segundo arranjo granular, corresponderam as partículas de pó de cimento com adição de sílica ativa. No entanto, devido ao diâmetro médio da sílica ativa, ser menor que 1 μm (TECNOSIL,

2018), essa faixa granulométrica de partículas finas (D_f), passou a abranger uma faixa mais extensa, sendo de ($< 0,001 - 0,074$) mm, o que promoveu inclusive, o preenchimento dos vazios entre as partículas do cimento. Conforme demonstrado na Figura 48, em bege estão representadas as partículas de pó de brita e em cinza as partículas do pó de cimento misturadas com as da sílica ativa.

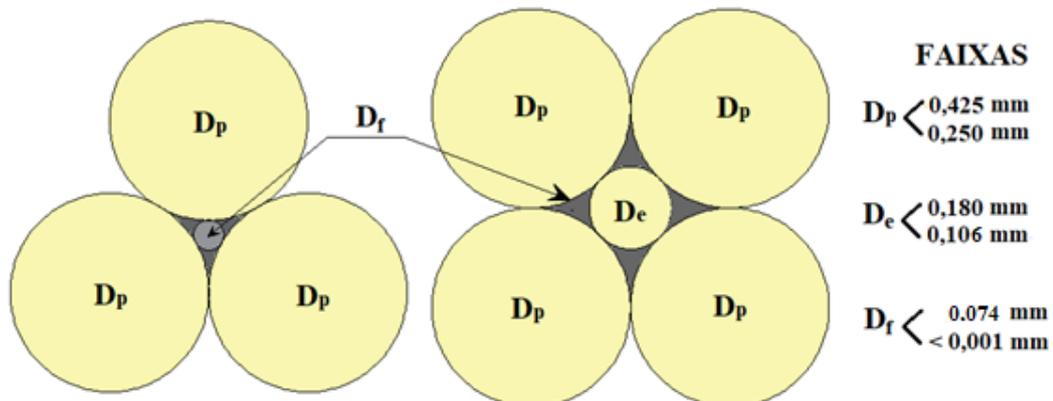


Figura 48: preenchimento dos vazios com cimento e adição de sílica ativa (cinza)
Fonte: autor.

Após a definição das faixas granulométricas das partículas (D_p , D_c e D_f) correspondentes ao pó de brita, ao cimento com sílica, conforme relacionados na Figura 48, prosseguiu-se com os procedimentos para determinar seus proporcionamentos na composição do esqueleto granular da matriz cimentícia, empregando o método de empacotamento compressivo de partículas (MEC).

3.3.3.2.2 Procedimentos de Empacotamento

Para determinar, experimentalmente a proporção das faixas granulométrica, das partículas que compuseram o esqueleto granular, conforme apresentado no estudo anterior, foi empregado o método utilizados por Larrard et al., 1986) e por Tutikian *et al.*(2011) para empacotamento binário, juntamente com a norma NBR NM 45 (2006), que trata da determinação da densidade a granel, do volume de vazios das partículas finas, e das misturas entre elas, no estado compactado. Nesse viés, foi empregado o “método A” prescrito na norma, para a determinação das massas unitárias compactada, para agregados $< 37,5$ mm, sendo que, neste trabalho não foram determinados, os volumes de vazios.

Da parte correspondente ao método A, da norma NBR NM 45 (2006), foram feitos os seguintes procedimentos:

- A secagem dos materiais, em estufa a (100°C a 110°C), até massa constante, por 24 horas;
- A determinação da massa do recipiente vazio (m_r);
- A determinação das massas do conjunto recipiente e agregados (m_{ar}); e
- O uso da equação 19, nos cálculos das massas unitárias compactadas:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Equação 19

Onde:

ρ_{ap} = massa unitária compactada, expressa em kg/m³;

m_{ar} = massa do agregado junto com a do recipiente, expresso em kg;

m_r = massa do recipiente vazio, expresso em kg;

V = volume do material compactado, expresso em m³, calculado com a Equação 20, apresentada mais adiante.

O método do MEC, foi utilizado para substituir os procedimentos de compactação empregado no método A, da norma NBR NM 45 (2006), onde, foram utilizados o recipiente, o peso, e a mesa vibratória, demonstrados na Figura 49.

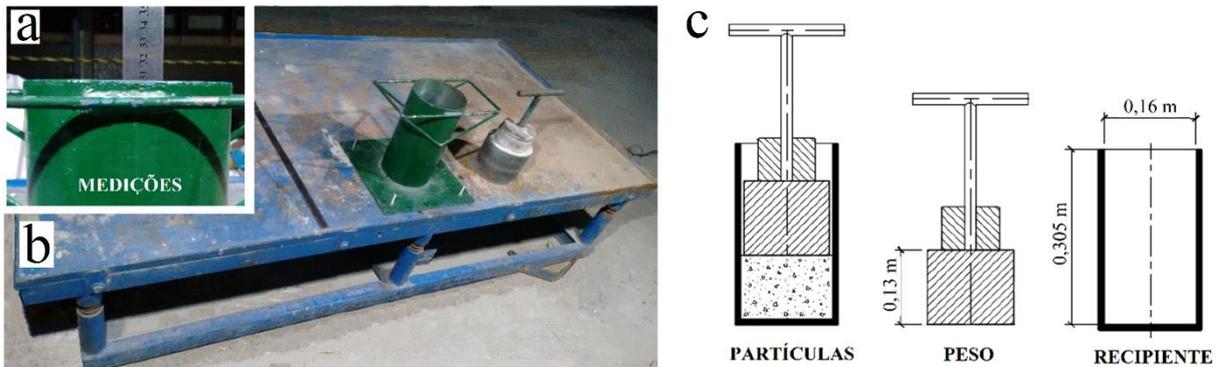


Figura 49: Régua de alumínio (a), mesa vibratória (b), recipiente e peso (c).
Fonte: autor.

Os ensaios do MEC, consistiram da compactação das partículas confinadas dentro do recipiente, por meio das ações conjuntas da compressão do peso e da vibração da mesa vibratória, por um período de tempo de 5 (cinco) minutos. Ao término de cada procedimento de empacotamento, foram feitas quatro medições de altura, em quatro pontos distintos, do nível superior do peso, em relação a borda do recipiente, depois foram feitas as respectivas pesagens das massas de agregado junto com a de recipiente (m_{ar}). Para o cálculo do volume (V)

do material compactado, foi considerado a média apurada entre as 4 (quatro) medidas de altura ($h_{méd}$), conforme a expressão abaixo:

$$V = (0,305 - 0,13 - h_{méd}) \cdot S \quad \therefore \quad S = \text{área do recipiente em m}^2 \quad \text{Equação 20}$$

Dessa forma, foi determinado inicialmente, a massa unitária da amostra correspondente à faixa granulométrica das partículas predominante (D_p), para o que, foi utilizado 2,5 kg dessas partículas (D_p). Na sequência, foram sendo efetuados empacotamentos binários gradativos, com adições na ordem de 10% de partículas de enchimento (D_e), em relação aos 2,5 kg fixos de partículas (D_p). Esses procedimentos foram efetuados até o limite máximo de 50%, conforme relacionado a baixo:

- MEC com mistura binária de 2,5 kg de (D_p) e 10% de (D_e) = 250 g;
- idem, de 2,5 kg de (D_p) e 20% de (D_e) = 500 g;
- idem, de 2,5 kg de (D_p) e 30% de (D_e) = 750 g;
- idem, de 2,5 kg de (D_p) e 40% de (D_e) = 1.000 g;
- idem, de 2,5 kg de (D_p) e 50% de (D_e) = 1.250 g.

Para determinar o empacotamento mais compacto, que promoveu o melhor proporcionamento entre a mistura das partículas (D_p+D_e), foi feita uma tabela, onde constam todas as informações relativas aos procedimentos do MEC, na qual, foi identificado a maior massa unitária obtida. A partir dessa identificação, foi efetuado, um refinamento no empacotamento binário, no intervalo entre a maior massa unitária obtida nas misturas (D_p+D_e) e a imediatamente anterior. Para esse novo intervalo, foram efetuadas adições gradativas de 2% de partículas de enchimento (D_e), até se igualar a maior massa unitária, o que também gerou outra tabela, onde foi possível identificar, a massa unitária, que proporcionou um melhor preenchimento dos vazios das partícula (D_p), com as partículas (D_e).

Após a obtenção do melhor empacotamento binário, entre as partículas do pó de brita (D_p+D_e), foi processado o empacotamento ternário com a adição das partículas (D_f), correspondente aos pós do cimento e da sílica, para o preenchimento dos vazios da mistura (D_p+D_e) processada anteriormente. A mistura ternária, transcorreu da mesma maneira como foi elaborado anteriormente, com a diferença, de que, não foi necessário o refinamento, visto que, o valor da massa unitária (D_f) obtida, representou apenas o ponto de partida para os procedimentos da dosagem experimental, que foi alterada durante os ensaios. Outra razão, foi que, a mistura (D_p+D_e) foi preenchida com adições gradativas com 5% de partículas finas (D_f), muito próxima de um percentual de refinamento.

Para a determinação da massa unitária da mistura ternária ($D_p+D_e+D_f$), foram empregados os mesmos procedimentos de medição e utilizados nos cálculos, a mesma expressão da equação 20.

3.3.3.3 Procedimentos da Dosagem Experimental

Esses procedimentos visaram a melhor associação entre a pasta cimentícia desenvolvida e o esqueleto granular definido anteriormente, objetivando alcançar a trabalhabilidade necessária, com a habilidade de um concreto autoadensável (CAA), que tivesse alta fluidez e que permitisse seu livre escoamento por entre os cordões da amadura têxtil. E no estado endurecido, que apresentasse coesão, alta resistência e reduzida permeabilidade de um concreto de alta resistência (CAR). Essas propriedades são características de concretos de alto desempenho (CAD), que segundo a classificação feita por Aïtcin (2000), possuem resistências de >50 até 150MPa.

Nos estudos da dosagem experimental, foram aproveitados inicialmente, o teor de superplastificante (ts) obtidos no ensaio do ponto de saturação, para a composição da pasta e as proporções entre as partículas ($D_p:D_e:D_f$), correspondentes ao traço seco, da mistura ternária entre os pós de brita e o cimento com sílica, resultado, da melhor compactidade nos procedimentos do MEC. Também foram empregados o manual de dosagem de (HELENE; TERZIAN, 1992), utilizado por (PIOVEZAM *et al.*, 2006), (TUTIKIAN *et al.*, 2011), (MURTHY *et al.*, 2014) e o esquema de decisão elaborado por (ALENCAR, 2008).

Dentro dos conceitos das pesquisas referidas a cima, foram elaborados três traços de referência, sendo o primeiro com a relação ($a/c = 0,40$), relativo ao limite superior, para obter uma argamassa com consistência fluida, o segundo com a relação ($a/c = 0,36$), relativo ao limite intermediário para obter uma consistência plástica, e o terceiro com a relação ($a/c = 0,32$), relativo ao limite inferior, para obter uma consistência de baixa plasticidade.

Durante os procedimentos para o preparo da dosagem dos 3 (três) traços de referência, houve a necessidade de se fazer ajustes na argamassa, para isso, foi adotado um traço experimental, composto do (traço seco + ts + a/c), no qual, foi mantida sempre constante, a proporção referente ao arranjo granular entre o pó de brita (D_p) e o (D_e) e foi escolhida a relação água/cimento (a/c) do traço limite intermediário. Para os ajustes, foi utilizado um esquema de

decisão elaborado por Alencar (2008), o qual sofreu adaptações nesse estudo, conforme está apresentado na Figura 50.

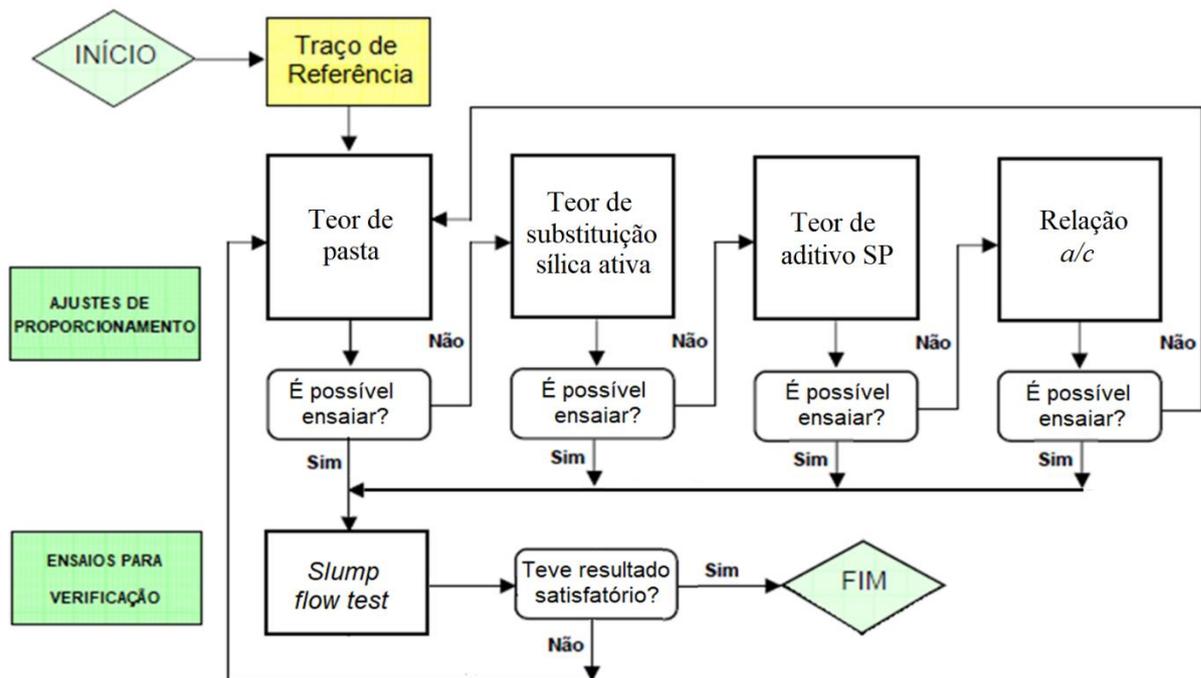


Figura 50: Esquema de decisões para ajustes do proporcionamento e respectivo ensaio. Fonte: adaptado de (ALENCAR, 2008).

Seguindo o esquema de decisões, os procedimentos para o preparo da dosagem do traço experimental, iniciaram com os ajustes do teor de pasta necessária para a trabalhabilidade da matriz cimentícia. Nesse ajuste, foram efetuadas várias tentativas para o preenchimento do volume de vazio residual do empacotamento da mistura ternária ($D_p:De:D_f$), chegando a exceder (*overflow*), o que ocasionou aumento no teor de pasta na argamassa. Para melhorar a consistência das argamassas, foram feitos ajustes, que proporcionaram aumentos, nos teores de sílica, de aditivo superplastificante, e de água.

As tentativas e ajustes processados, foram avaliados por intermédio de ensaios de *slump flow test*, que corresponde ao método prescrito nas normas, NBR NM 68 (1998) que prescreve o método pelo qual se determina a consistência do concreto mediante o espalhamento do tronco de cone na mesa de *Graff*, sendo que, neste trabalho, foi utilizada a mesa indicada para argamassa na norma NBR 13276 (2002), e as avaliações encontrados para concreto autoadensável na norma NBR 15823-1 (2016), que estabelece o método de ensaio para avaliação da fluidez do concreto autoadensável, em fluxo livre, sob a ação de seu próprio peso, pela determinação do espalhamento e do tempo de escoamento do concreto autoadensável,

empregando-se o cone de Abrams. Esses ensaios estão descritos mais adiante no capítulo que trata os ensaios da matriz cimentícia.

Após a obtenção dos teores ideais de dosagem no traço experimental, foram novamente produzidas, novas misturas com a argamassa definitiva, para cada um dos traços de referência. Em seguida foram efetuados os respectivos ensaios reológicos que comprovaram os desempenhos das argamassas. Os materiais utilizados nesses ensaios, foram utilizados na produção de 30 (trinta) corpos-de-prova cilíndricos, para ensaios de compressão axial, sendo 10 (dez) de cada tipo de traço de referência.

3.3.3.4 Determinação do Traço Definitivo

Neste trabalho foi escolhido entre os traços de referência, o que possuiu as características desejadas para a matriz cimentícia das placas das formas colaborante, conforme foram determinados nos ensaios para a composição da pasta, do empacotamento do esqueleto granular e da dosagem experimental. As proporções correspondentes ao traço definitivo foram definidos utilizando a expressão abaixo:

$$\text{Traço definitivo} = \frac{Df}{Df} : \frac{De}{Df} : \frac{Dp}{Df} : (a/c) \Leftrightarrow 1 : e : p : (a/c); \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

De/Df = é a proporção de partículas da faixa de enchimento secas, em relação ao aglomerante (cimento + sílica);

Dp/Df = é a proporção de partículas da faixa predominante secas, em relação ao aglomerante (cimento + sílica);

Df/Df = corresponde 1, nas relações do traço definitivo;

e = corresponde De/Df , nas relações do traço definitivo;

p = corresponde Dp/Df , nas relações do traço definitivo;

a/c = correspondente a do traço escolhido.

3.3.3.5 Ensaios na Matriz Cimentícia

Para comprovar as propriedades físicas e mecânicas, adquiridas pela matriz cimentícia, em cada traço de referência, durante os procedimentos de ajustes para o desenvolvimento da dosagem experimental, foram processados ensaios específicos, enquanto a pasta estava no estado fresco e depois quando esteve no estado endurecido, no sentido também, de se estabelecer uma correlação, entre o desempenho da matriz cimentícia nos dois estados.

3.3.3.6 Ensaios no Estado Fresco

Neste trabalho, foi somente utilizado para a determinação do índice de consistência, o ensaio de Slump flow test, o qual, foi efetuado de acordo com os princípios da parte 2 da norma NBR 15823 (2017) e da NBR NM 68 (1998), que tratam da determinação da consistência e respectivamente do espalhamento, do tempo de escoamento de concretos autoadensáveis, e do abatimento do troco cone, empregando o método do cone de *Abrams*. No entanto, devido as misturas frescas terem sido somente composta por pós, as quais, apresentaram características de argamassa, os ensaios foram efetuados utilizando o molde tronco cone e a mesa de *Graff* da norma voltada para esse fim NBR 13276 (2002). Outra justificativa, foi também pelo fato das consistências dos traços de referência, terem apresentados variações distintas, sendo para o traço inferior, consistência com baixa plasticidade, demonstrada na imagem (a) da Figura 51, consistência plástica para o traço intermediário mostrada na imagem (b) e consistência fluida (autoadensável), para o traço superior, mostrada na imagem (c). As quais foram obtidas, apenas pela ação do peso próprio, após a retirada do molde tronco cone, sobre a mesa de *Graff*.



Figura 51: consistências dos traço de referência inferior (a), intermediário (b) e superior (c).
Fonte: Autor.

Os procedimentos para os ensaios de abatimento e de espalhamento, para determina o índice de consistência, ocorreram durante os procedimentos da dosagem experimental. Foram elaborados de acordo com as normas referidas, e conforme a sequência abaixo:

- em cada ensaio, foram efetuadas as limpeza e o umedecimento do molde tronco-cônico e do tampo da mesa de *Graff*;
- com o molde tronco-cônico, posicionado de modo centralizado sobre a mesa, o seu preenchimento, ocorreu em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e aplicada em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com soquete. No caso das argamassas de consistência fluidas, não foram aplicados nenhum golpe;
- após o preenchimento do molde, foi feito o arrasamento raspando o excedente, rente a borda superior do molde tronco-cônico, utilizando uma régua metálica;
- para o desmolde, o molde troco-cônico, foi erguido verticalmente e o material ficou livre sobre a mesa, com ação apenas do peso próprio;
- Em seguida foi acionada a manivela da mesa, de modo que, a mesa subisse e caísse por 30 (trinta) vezes em 30 (trinta) segundos, de maneira uniforme, o que, provocou o espalhamento da argamassa. No caso da argamassa fluida, não foi acionada a manivela;
- Ao final do procedimento de cada ensaio, foram tomadas as medidas do diâmetro do espalhamento, em três partes distintas do seu perímetro;
- Os índices de consistência (I_C) das argamassas, corresponderam a média das três medidas de diâmetro, expressadas em milímetros, conforme a expressão a baixo.

$$I_C = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3} \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

- I_C = índice de consistência da argamassa, expresso em mm;
- d_1 , d_2 e d_3 = são os diâmetros medidos em pontos distintos na mesa de *Graff*, expresso em mm.
- A fluidez da argamassa foram determinadas utilizando a seguinte expressão:

$$f = \frac{I_C}{d} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

f = fluidez da argamassa;

d = medida do diâmetro da base maior do molde tronco-cônico, Ø125 mm.

Os equipamentos e utensílios utilizados nos ensaios para a determinação das consistências de cada tipo de traço de referência, são apresentados na Figura 52 e estão relacionados abaixo:

- Mesa de Graff mecânica de bancada, imagem (a);
- Argamassadeira elétrica de bancada, imagem (b);
- balança eletrônica digital modelo MB 16 Marte capacidade 16,200 g, imagem (c).
- paquímetro universal de 350 mm modelo *Starret*;
- utensílios diversos, com conchas, espátulas, raspadores, provetas e vasilhames.



Figura 52: Mesa de *Graff* (a), argamassadeira elétrica (b) e balança eletrônica digital (c).
Fonte: Autor

3.3.3.7 Ensaios no Estado Endurecido

Depois de certificadas, as propriedades de autoadensabilidade e de alta fluidez da matriz cimentícia no estado fresco, foram avaliadas as propriedades de alta resistência que a matriz apresentou no estado endurecido. Para isso, foram produzidos corpos-de-prova cilíndricos, considerando os procedimentos de preparo e de cura. Os ensaios previstos no estado endurecido visaram avaliar a resistência à compressão axial e a obtenção dos módulos de elasticidade inicial e secante, onde foram empregados os traços desenvolvidos e definidos anteriormente.

3.3.3.7.1 Produção e Ensaio de corpo-de-prova

A norma que prescreve os procedimentos para moldagens, e cura de corpos-de-prova de concreto é a NBR 5738 (2015) e a que discorre sobre ensaios de compressão de corpo-de-prova cilíndricos é a NBR 5739 (2007), mas como a matriz cimentícia deste trabalho, foi composta

apenas por partículas finas, que produziu uma matriz, semelhante a uma argamassa, foi prescrito nesse caso, a norma NBR 11173 (1990), que trata de argamassas armadas, a qual indica para essa finalidade a norma NBR 7215 (1996). Essa última norma referida, compreende desde os procedimentos de produção, preparação, cura até os ensaios para determinação da resistência a compressão de cimento Portland.

As principais propriedades obtidas nesse tipo de ensaios foram:

- Tensão de resistência à compressão;
- Módulo de elasticidade inicial;
- Módulo de elasticidade secante;

Os procedimentos para o preparo dos corpos-de-prova, foram efetuados durante os ensaios de dosagem experimental, sendo que, as superfícies internas e os fundos das formas cilíndricas, foram previamente untados com uma leve camada de óleo.

A moldagem dos corpos-de-prova, transcorreram imediatamente após os amassamentos e depois dos ensaios reológicos. Os preenchimentos das formas, foram feitos em quatro camadas supostamente iguais, sendo que, cada camada recebeu 30 golpes de soquete, uniformemente distribuídos, com exceção, dos materiais de consistência fluida, que foram preenchidos lentamente sem adensamento. No final de cada preenchimento, foram retirados os excessos de materiais, dos topos das formas dos corpos-de-prova, com auxílio de uma régua metálica.

No fim do tempo de pega, os corpos-de-prova, receberam uma placa de vidro para proteger a face superior, e foram mantidos em câmara úmida, por um período de tempo de 24 horas. Após esse período, os corpos-de-prova foram retirados das formas, identificados e imersos, separadamente no tanque de água saturada de cal, para a cumprir o tempo de cura.

O tempo de cura úmida previsto, foi de no mínimo 28 dias, a partir de então, os corpos-de-prova, ficaram armazenados em ambiente com temperatura controlada de 21 ± 1 °C, por um período de 40 horas de secagem, para então, serem levados aos ensaios de compressão.

Antes dos ensaios de compressão, foram efetuados os procedimentos para o faceamento dos corpos-de-prova, por meio de esmerilhamento das fases, sendo que, e em nenhum caso ocorreu das medidas de altura, terem apresentados uma relação menor que $h/d = 1.94$, estabelecida pela NBR 5739 (2007).

O equipamento que foi utilizado nos ensaios de compressão axial, foi uma máquina universal mecânica, modelo U.M.C. 60, marca CONTENCO, com capacidade de 600 kN, instalado no laboratório de resistência dos materiais DAINFRA-CMC do IFAM, que foi

programada para transmitir a carga de compressão aos corpos-de-prova, na velocidade constante de carregamento de 0,25 MPa/seg. A Figura 53, mostra na imagem (a), o referido equipamento e na imagem (b), um corpo-de-prova centrado sob o eixo de carregamento.



Figura 53: máquina universal mecânica (a), corpo-de-prova centrado (b).
Fonte: Autor

Nos ensaio de resistência à compressão axial, foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Os aparatos e as descrições dos procedimentos para esse ensaio estão constantes na referida norma. Neste trabalho foram utilizados, 30 corpos-de-prova, produzidos durante a dosagem experimental, correspondentes aos 3 (três) traços de referência, os quais, foram rompidos conforme a seguir:

- 10 (dez) corpos-de-prova cilíndricos conforme a norma NBR 7215 (1996), correspondente ao traço de referência inferior, para ensaio na idade de 28 dias de cura úmida;
- 10 (dez) corpos-de-prova cilíndricos conforme a norma NBR 7215 (1996), correspondente ao traço de referência intermediário, para ensaio na idade de 28 dias de cura úmida;
- 10 (dez) corpos-de-prova cilíndricos conforme a norma NBR 7215 (1996), correspondente ao traço de referência superior, para ensaio na idade de 28 dias de cura úmida.

Além da produção dos 30 corpos-de-prova (CP) cilíndricos, referidos, também foram produzidos mais 18 CPs, decorrentes da produção de 6 (seis) placas da forma colaborante com o traço definitivo, os quais, foram rompidos conforme a seguir:

- 6 (seis) corpos-de-prova cilíndricos, conforme a norma NBR 7215 (1996), correspondentes a produção de 2 (duas) placas sem reforço, para ensaio na idade de 28 dias de cura úmida;
- 6 (seis) corpos-de-prova cilíndricos, conforme a norma NBR 7215 (1996), correspondentes a produção de 2 (duas) placas com reforço de tecido de juta, para ensaio na idade de 28 dias de cura úmida;
- 6 (seis) corpos-de-prova cilíndricos, conforme a norma NBR 7215 (1996), correspondentes a produção de 2 (duas) placas com reforço de armadura têxtil, para ensaio na idade de 28 dias de cura úmida;

3.3.3.7.2 Resistência característica (f_{ck})

A resistência à compressão não é um resultado que se obtém diretamente no ensaio. Essa tensão foi obtida mediante ao cálculo da força máxima aplicada durante no ensaio no momento do rompimento do corpo-de-prova, dividida pela sua área. Considerando os métodos de cálculo adotados pela norma ABNT NBR 5939 (2007), as resistências f_{cks} foram calculada por intermédio da seguinte expressão:

$$f_{ck} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

f_{ck} = é a resistência à compressão, em MPa;

F = é a força máxima alcançada, em newton (N);

D = é o diâmetro do corpo de prova em mm.

3.3.3.7.3 Módulo de Elasticidade

A norma NBR 8522 (2008), trata da determinação do módulo de deformação estática e do diagrama tensão x deformação. Neste trabalho não foram feitos os ensaios de acordo com a norma, para a determinação do módulo de elasticidade estático. O módulo de elasticidade inicial (E_{ci}), foi estimado conforme prescreve a norma NBR 6118 (2014), utilizando as resistências características da matriz cimentícia (f_{ck}), para concreto de alta resistência (50 a 90 MPa) obtidas durante os ensaios de compressão axial, e a expressão a seguir:

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{1/3} \quad \therefore \quad \alpha_E = 1,0 \text{ para granito} \quad \text{Equação 25}$$

O módulo de elasticidade secante (E_{cs}), é utilizado nas análises elásticas de projetos, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço estabelecido na ABNT NBR 8522 (2008), são calculados pela expressão:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad \therefore \quad \alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad \text{Equação 26 e 27}$$

3.3.4 Desenvolvimento de Placas nervuradas da forma colaborante cimentícia

Para o desenvolvimento da forma colaborante, foram produzidas placas nervuradas medindo 400x400 mm, com espessura de 15 mm, com o compósito constituído da matriz cimentícia desenvolvida no capítulo 3.3.3, e da armadura têxtil, desenvolvida no capítulo 3.3.2, para o respectivo reforço. Também foram produzidas placas, utilizando a mesma matriz, porém, reforçadas com tecido de juta (sem impregnação), para estudos de comparação e avaliação da contribuição dos reforços no compósito. Nesse mesmo viés, foram produzidas placas somente com a matriz cimentícia, ou seja, sem reforço, com a finalidade de servirem de referência, na comparação das resistências e desempenhos.

Os aspectos e detalhes das placas nervuradas da forma colaborante, são demonstrados na Figura 54. Na perspectiva e no desenho da secção transversal, são apresentadas as nervuras, os vazios de alívios, e respectivas dimensões.

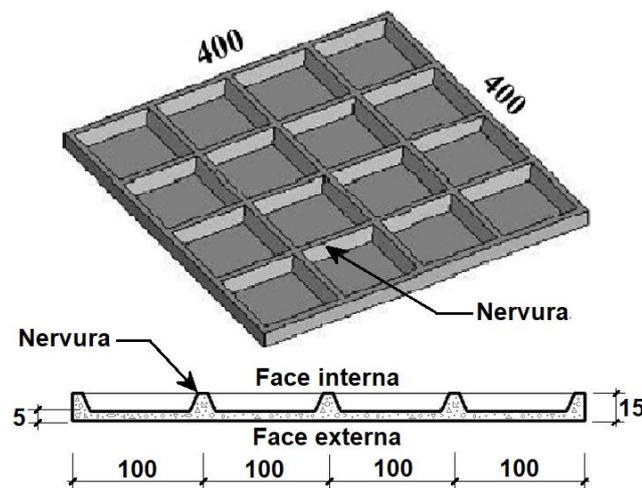


Figura 54: detalhes em perspectiva e seção, da placa nervurada da fôrma colaboram-te cimentícia – em mm.
Fonte: autor.

3.3.4.1 Montagem do sistema de forma das placas nervuradas

O sistema de forma, das placas nervuradas da forma colaborante, além do dispositivo de fixação, possui uma moldura de madeira, montada por meio de encaixes, medindo internamente 40x40 cm. A sua dimensão interna, permitiu que fossem encaixados 16 módulos prismáticos fabricados em *nylon*, medindo 10x10 cm, destinados a modelar as nervuras e os vazios, para alívio de massa da forma colaborante, conforme demonstrado nas imagens (a) e (b) da Figura 55.



Figura 55: molde desmontado (a) e montado (b).
Fonte: autor.

Conforme a Figura 55, a moldura de madeira mede externamente 50x50 cm, foi projetada para possibilitar o seu encaixe dentro do dispositivo de fixação descrito no capítulo 3.3.2.1, para que, fosse posicionada a armadura têxtil, na zona de tração da matriz cimentícia da forma colaborante, e também, para que, após a moldagem da matriz no estado fresco, a mesma não se deslocasse e permanecesse em seu local de origem, em toda extensão da placa, conforme fez (MELO FILHO, 2005). E de acordo como demonstrado na Figura 56.

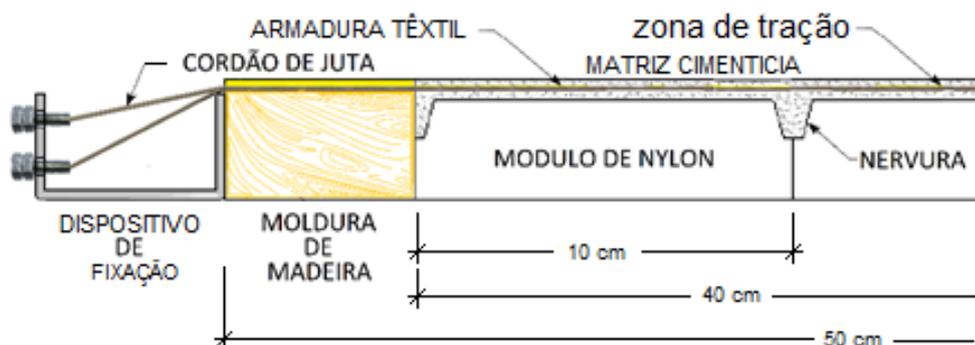


Figura 56: detalhe em corte - encaixe da moldura de madeira no dispositivo de fixação.
Fonte: autor.

A Figura 56, representa em detalhe, a metade simétrica do sistema de forma da placa nervurada, da forma colaborante. Onde, está convencionado em bege, a moldura de madeira, que se apresenta encaixada no quadro do dispositivo de fixação. Também apresenta, os módulos de nylon que modelam as nervuras, encaixados na moldura de madeira. Conforme pode ser observado no desenho, o tecido de juta, fixado no dispositivo de fixação, fica posicionado e tensionado, na zona de tração da placa da forma colaborante. Nota-se também, o preenchimento das nervuras e da capa da placa com a matriz cimentícia.

A sequência de montagem do sistema de forma, inicia com os encaixes dos 16 módulos de nylon, na moldura de madeira, depois, a mesma é encaixada dentro do dispositivo de fixação com o tecido de juta tracionado, conforme demonstrado nas imagens (a) e (b) da Figura 57.

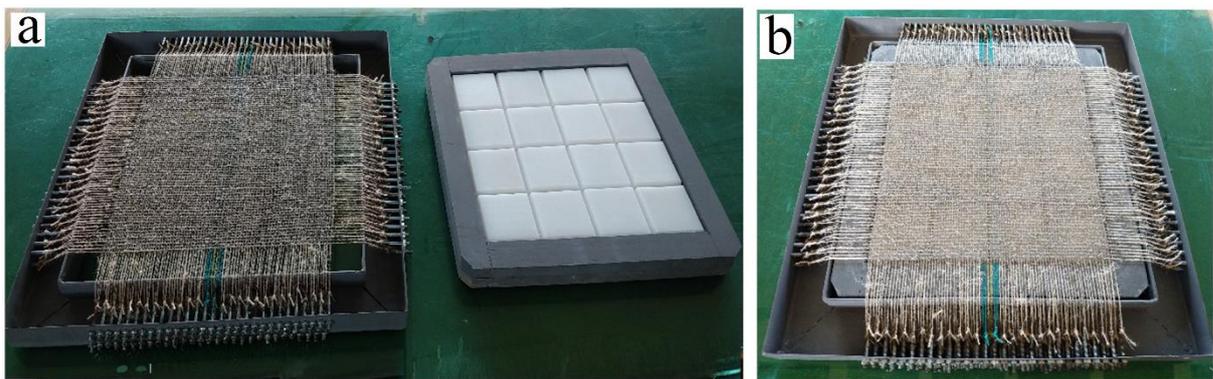


Figura 57: Montagem inicial do sistema de forma: dispositivo e quadro (a); depois de encaixados (b).
Fonte: autor.

As imagens (a) e (b) da Figura 58, mostram a finalização da montagem do sistema de forma, com a colocação e fixação da tampa, sobre o dispositivo de fixação, o que além de proteger os esticadores dos resíduos de concreto fresco, serve para regular a espessura da capa da placa nervurada da forma colaborante.

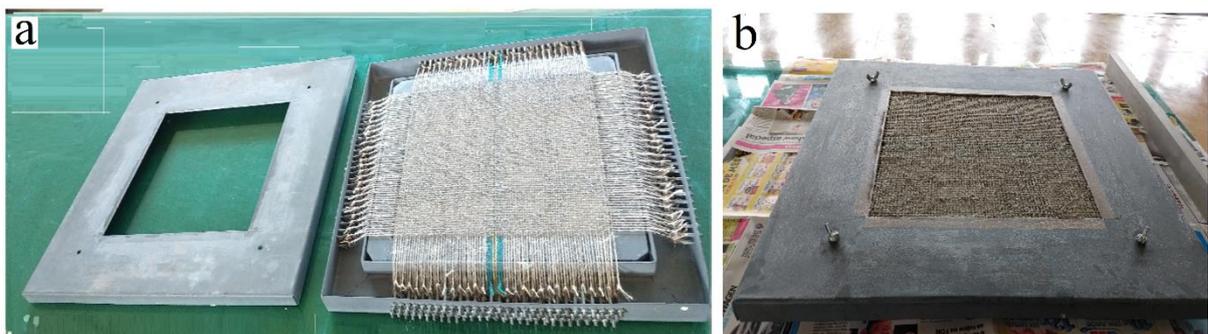


Figura 58: sequência final da montagem: tampa e dispositivo (a); depois de montados (b).
Fonte: autor.

3.3.4.2 *Produção de placas nervuradas*

Neste trabalho, foram produzidas no total, 6 (seis) placas nervuradas, com o compósito da forma colaborante, conforme relacionadas a seguir:

- 2 (duas) placas nervuradas medindo, 400x400 mm, com espessura de 15 mm, constituída somente da matriz cimentícia, ou seja, sem reforço, para servir de referência;
- 1 (uma) placa nervurada, medindo 400x400 mm, com o compósito, constituído da matriz cimentícia e de reforço de tecido de juta, pelo lado das tramas;
- 1 (uma) placa nervurada, medindo 400x400 mm, com o compósito, constituído da matriz cimentícia e de reforço de tecido de juta, pelo lado dos urdumes;
- 1 (uma) placa nervurada medindo, 400x400 mm, com o compósito, constituído da matriz cimentícia e de reforço de armadura têxtil, pelo lado das tramas;
- 1 (uma) placa nervurada medindo, 400x400 mm, com o compósito, constituído da matriz cimentícia e de reforço de armadura têxtil, pelo lado dos urdumes.

3.3.4.2.1 *Preparo da argamassa e moldagem de placas nervuradas.*

O preparo da argamassa fresca da matriz cimentícia, para a produzir as placas nervuradas, foi efetuado no ambiente climatizado do laboratório do LEM da UFAM, em temperatura controlada, de $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Nesse procedimento, foi aproveitado todo o conhecimento adquirido na dosagem experimental, na determinação do traço definitivo. Portanto, foram utilizadas, as mesmas proporções em peso dos materiais componentes.

Os procedimentos empregados no preparo e na moldagem da argamassa fresca da matriz cimentícia, foram efetuados nas seguintes etapas:

- **Pesagem dos componentes** - foram efetuadas as pesagens do cimento Portland, da sílica ativa, das partículas predominantes (*Dp*), e de enchimento (*De*), do pó de brita, do superplastificante e da água de emassamento, de acordo com as proporções do traço definitivo;
- **Mistura dos componentes** - foram efetuadas manualmente e separadamente, misturas secas, entre aglomerantes, com as proporções de cimento Portland e de sílica ativa, também, entre os agregados de pó de brita, com as proporções de partículas

predominantes e de enchimento. Nas mesmas condições, foi feita a mistura dos aditivos com as proporções de superplastificante e de água de emassamento;

- **Preparo da pasta** - a pasta cimentícia, foi homogeneizada num misturador elétrico, a partir de porções fracionadas da mistura dos aglomerantes, com adição em pequenas dosagens da mistura de aditivos (água+superplastificante), até atingir a plasticidade fluida.
- **Preparo da argamassa** - a argamassa cimentícia, foi preparada, adicionando-se na pasta fluida contida no misturador, frações sucessivas de porções da mistura dos agregados de pó de brita, complementada com o restantes da mistura de aditivos, até a alcançar a homogeneização completa com aspecto de autoadensabilidade.
- **Consistência da pasta** - foram efetuados, ensaios reológicos para verificação da consistência da argamassa, de acordo com trabalhabilidade, determinada no estudo da dosagem experimental.
- **Preenchimento do molde** - o molde da forma colaborante, previamente montado e nivelado, foi preenchido com a argamassa fresca da matriz cimentícia, sem necessidade de adensamento.
- **Corpos-de-prova** - foram retiradas amostras da argamassa da matriz cimentícia, para o preenchimento dos moldes de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, nas conformidades da norma NBR 7215 (1996) que trata do preparo e determinação da resistência à compressão.

Na imagem (a) da Figura 59, o molde se apresenta preenchido, com a argamassa fresca da matriz cimentícia, correspondendo ao final dos procedimentos relatados anteriormente, nas etapas, do preparo e moldagem de placas nervuradas da forma colaborante. Na imagem (b), apresenta a placa nervurada no início do processo de desforma, após a retirada da tampa do molde, com 24 horas de cura inicial ao ar, depois da argamassa da matriz cimentícia enrijecer.

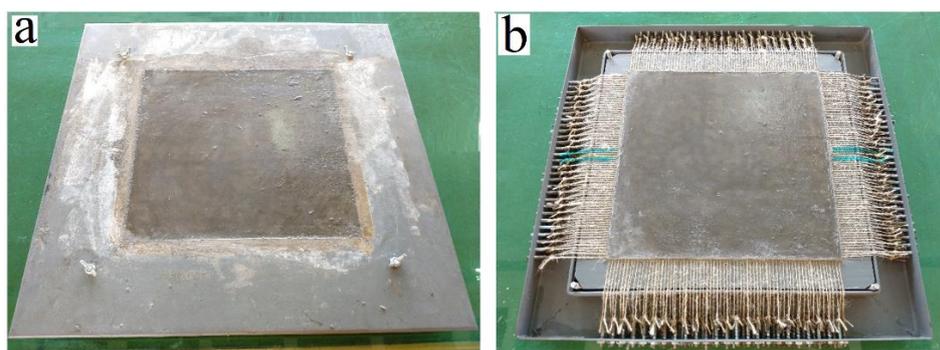


Figura 59: Molde preenchido (a) e início da desmontagem do sistema de forma (b).

Fonte: Autor.

3.3.4.2 Procedimentos de desforma da placa nervurada

Para desmontar, o sistema de forma da placa nervurada da forma colaborante, primeiramente foi retirada a tampa, conforme demonstrado na imagem (b) da Figura 59. Depois, foram cortados todos os cordões mostrados na imagem (a) da Figura 60, em seguida, conforme mostrado na imagem (b) foi desencaixada a moldura para liberar o dispositivo de fixação do sistema de forma e aparada as pontas dos cordões. Na sequência, a moldura foi desmontada para liberar a placa nervurada cimentícia e no final foram retirados os módulos de nylon, das suas cavidades, conforme a imagem (c) a baixo.



Figura 60: Corte dos cordões (a); desencaixe e aparas das pontas (b); retiradas dos módulos de nylon (c).
Fonte: autor.

3.3.4.3 Procedimentos de cura das placas nervuradas

Segundo a NBR 7215 (1996), “os corpos-de-prova devem ser submetidos a um período de cura inicial ao ar e a um período final em água”. Portanto, logo após, ter sido transcorridos o tempo do fim de pega, determinado na caracterização do cimento, as placas nervuradas e os corpos-de-prova cilíndricos, ainda nos moldes, foram acondicionados em câmara úmida, onde permaneceram por um período mínimo de 24 h. Para evitar a ocorrência da perda repentina de água, foi colocada em cada placa nervurada, um pano umedecido e uma placa de vidro, e nos corpos-de-prova cilíndricos, foram colocadas vidros planos sobre a face superior.

Depois desse período, as placas nervuradas e os corpos-de-prova cilíndricos, foram desmoldados e identificados, então, imersos num tanque de água saturada de cal, para o período de cura final. Dentro do tanque as placas e os corpos-de-prova ficaram submersos e acondicionados separadamente até completarem a idade para rompimento. Conforme a referida norma prescreve, foram efetuadas quinzenalmente, a troca de toda água do tanque.

3.3.4.4 *Propriedades mecânicas e físicas das placas nervuradas*

Os ensaios realizados neste item, tiveram a finalidade da caracterização da placa nervurada, considerando as propriedades adquiridas pelo compósito, que foi produzido. Conforme já foi relatado anteriormente, das placas nervuradas produzidas, foram extraídos corpos-de-prova, visando os ensaios mecânicos de tração na flexão e de tração direta, e também, de testemunhos, para os ensaios físicos de densidade aparente, absorção de água, de índice de vazios, de massas específicas secas e saturadas e de impermeabilidade.

3.3.4.4.1 *Ensaio de Flexão.*

O comportamento mecânico à tração na flexão das placas nervuradas, produzidas com o compósito da forma colaborante, foi analisado mediante a NBR 15498 (2016) que estabelece os requisitos e métodos de ensaios de placas de cimento reforçadas com fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção das fibras de amianto. As principais propriedades obtidas nesse tipo de ensaios são:

- Tensão de resistência à tração ou módulo de ruptura na flexão;
- Módulo de elasticidade à flexão;
- Módulo de resiliência à flexão;
- Módulo de tenacidade à flexão.

Na norma NBR 15498 (2016), está prescrito ensaios de flexão à três pontos, no entanto, neste trabalho, os ensaios foram efetuados por meio da flexão a quatro pontos, com a finalidade de submeter os corpos-de prova ao mesmo esforço máximo, condicionando o rompimento no local onde existiam maiores concentrações de tensões (FREDEL *et al*, 2015). Nesse ensaio, foram utilizados corpos-de-prova com as dimensões de 100 x 400 x 15 mm, extraídos de placas nervuradas de forma colaborante produzidas nas medidas de 400 x 400 x 15 mm, sendo recortados nos dois sentidos da armadura têxtil. A imagem (a) da Figura 61, mostra o procedimento de corte das placas, utilizando uma mesa de corte, equipada com disco de serra diamantado, e na imagem (b) são apresentadas as dimensões dos corpos-de-prova depois de cortados.

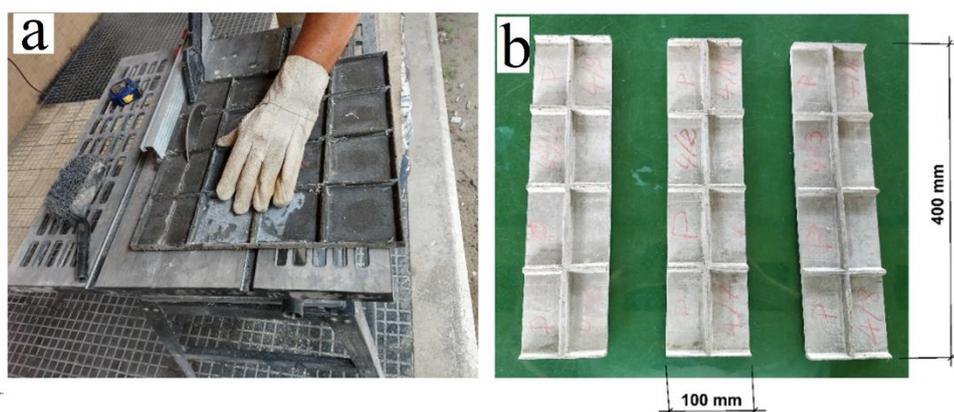


Figura 61: procedimento de corte dos corpos-de-prova.
Fonte: Autor.

Durante os procedimento de corte, foram utilizadas 05 (cinco) placas nervuradas, das 06 (seis) produzidas neste trabalho. A placa que não foi utilizada, foi a (P2), que mantém-se preservada, produzida juntamente com a (P1), somente com a matriz cimentícia (sem reforço), para servirem de referência (REF). As quatro restantes foram, as placas (P3) e (P4) produzidas com a matriz cimentícia reforçada com tecido de juta (sem impregnação) e as placas (P5) e (P6) produzidas com a matriz reforçada com a armadura têxtil (tecido de juta impregnado com resina de epóxi). Os cortes das placas levaram em conta as direções das malhas nas placas, portanto, 02(duas) placas nervuradas reforçadas, foram cortadas no sentido dos urdumes e duas no sentido das tramas do tecido.

De cada placa nervurada, foram extraídos 03 (três) corpos-de-prova, perfazendo um total de 15 (quinze) corpos-de-prova, conforme relacionados na Tabela 13.

Tabela 13: Relação dos corpos-de-prova disponíveis para os ensaios de tração na flexão

Placa	Corpo-de-prova	Reforço	Sentido	DIMENSÕES
P1	CP1/1	Sem reforço	REF	100x400x15 mm
	CP1/2	Sem reforço	REF	100x400x15 mm
	CP1/3	Sem reforço	REF	100x400x15 mm
P3	CP3/1	Tecido de juta	Urdumes	100x400x15 mm
	CP3/2	Tecido de juta	Urdumes	100x400x15 mm
	CP3/3	Tecido de juta	Urdumes	100x400x15 mm
P4	CP4/1	Tecido de juta	Tramas	100x400x15 mm
	CP4/2	Tecido de juta	Tramas	100x400x15 mm
	CP4/3	Tecido de juta	Tramas	100x400x15 mm
P5	CP5/1	Armadura têxtil	Urdumes	100x400x15 mm
	CP5/2	Armadura têxtil	Urdumes	100x400x15 mm
	CP5/3	Armadura têxtil	Urdumes	100x400x15 mm
P6	CP6/1	Armadura têxtil	Tramas	100x400x15 mm
	CP6/2	Armadura têxtil	Tramas	100x400x15 mm
	CP6/3	Armadura têxtil	Tramas	100x400x15 mm

Fonte: Autor.

As placas antes de serem cortadas, passaram pelo procedimento de cura úmida, e os corpos-de-prova recortados, ficaram armazenados em ambiente com temperatura controlada de 21 ± 1 °C, por um período de 40 horas de secagem, para então, serem levados aos ensaios de flexão.

Após os cortes, as seções transversais dos corpos-de-prova, ficaram configuradas conforme o desenho apresentado na Figura 62, assumindo as propriedades geométricas apresentadas na Tabela 14, na sequência. Essas propriedades foram obtidas por intermédio do programa de projeto arquitetônico e engenharia, AutoCAD da (AUTODESK, 2016).

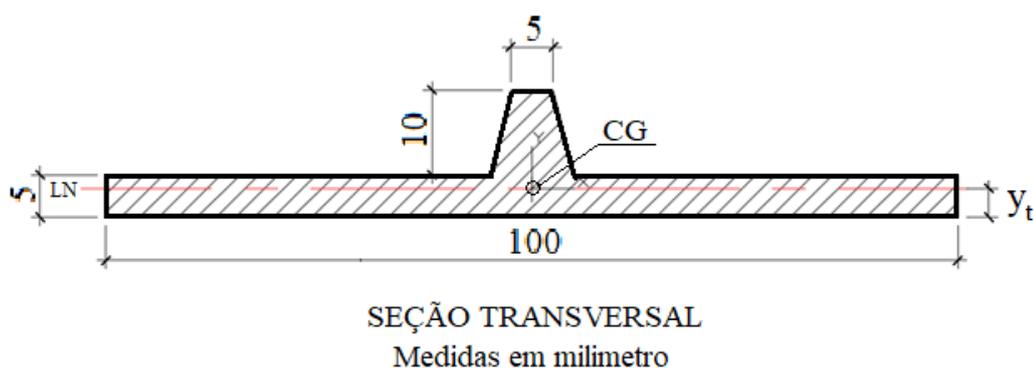


Figura 62: Seção transversal e dimensões do corpo-de-prova
Fonte: Autor.

Tabela 14: propriedades geométrica da seção transversal do corpo de prova

Área	Perímetro	Distancia da Linha Neutra	Momento de Inércia
$S: 575,0 \text{ mm}^2$	$P: 225.6 \text{ mm}$	$y_t: 3.4058 \text{ mm}$	$I_x: 4788,6473 \text{ mm}^4$

Fonte: AutoCAD (AUTODESK, 2016).

O dispositivo utilizado nos ensaios de flexão, foi o modelo AME-5kN de marca Oswaldo Filizola, que tem a capacidade máxima de 5000 N, instalado no Laboratório LAMAC – UFAM. Os resultados dos ensaios foram obtidos do relatório fornecido pelo programa DynaView Pro M, que também controla o dispositivo, onde foi programado uma velocidade constante para os ensaio de 5 mm/min.

A imagem (a) da Figura 63, mostra o dispositivo onde foram efetuados os ensaios de tração na flexão e como os corpos-de-prova foram montados nos apoios. A imagem (b), mostra o desenho esquemático de montagem dos posicionamentos dos corpos-de-prova no dispositivo. A distância entre os apoios mediram 300 mm e entre os cutelos, que correspondiam aos pontos de carga, mediram 100 mm.

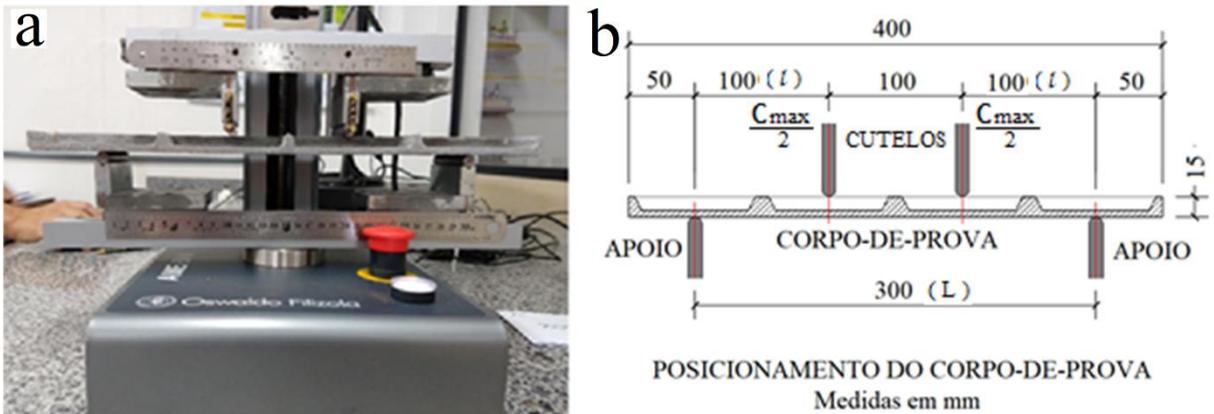


Figura 63: Ensaio de flexão e desenho esquemático do posicionamento do corpo-de-prova no dispositivo
Fonte: Autor.

Devido a forma geométrica da secção transversal e considerando as cargas que provocaram as fraturas dos corpos-de-prova, as tensões máximas de resistência a flexão, foram calculadas mediante a expressão da flexão pura, apresentada a abaixo.

$$\sigma_r = \pm \frac{M \cdot y_t}{I_x} \quad \therefore \quad M = \frac{C_{max} \cdot l}{2} \quad \text{Equação 28 e 29}$$

Onde:

σ_r = tensão de resistência máxima no limite da ruptura, expresso em MPa;

M = Momento máximo de flexão, expresso em kN.mm;

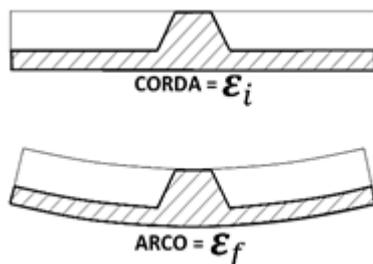
I_x = Momento de Inércia, expresso em mm⁴ (ver tabela 14);

y_t = distância da linha neutra à extremidade mais tracionada, expressa em mm (ver Tabela 14 e Figura 62);

C_{max} = Carga máxima de ruptura, expresso em N;

l = distância entre o cutelo e o apoio, expresso em mm (ver figura 63).

Para determinar a deformação linear (ϵ_l), a partir dos valores das deflexões obtidas nos relatórios dos ensaios de tração na flexão, foi empregada a seguinte expressão.



$$\epsilon_l = \frac{\epsilon_f - \epsilon_i}{\epsilon_i} \quad \text{Equação 30}$$

Figura 64: deformação típica de tração na flexão
Fonte: Autor.

Onde:

ϵ_i = deformação inicial, (distância entre apoios), correspondente comprimento da corda do arco, expresso em mm;

ϵ_f = deformação final, correspondente ao comprimento do arco formado pela flexão, expresso em mm.

Para o cálculo do módulo de elasticidade a flexão (E_f), foi utilizada a formula a seguir, empregada em materiais frágeis (FREDEL *et al*, 2015). E também, considerando que os rompimentos ocorreram no terço central, através de uma única fratura nos corpos-de-prova.

$$E_f = \frac{1}{48} \cdot \frac{C_{max} \cdot L^3}{f \cdot I} \quad \text{Equação 31}$$

Onde:

E_f = módulo de elasticidade a flexão, expresso em GPa;

C_{max} = carga máxima na ruptura, obtida nos ensaios de flexão, expresso em N;

f = flecha máxima correspondente a C_{max} , obtida nos ensaios de flexão, em mm;

L = comprimento do vão entre os apoios do dispositivo, expresso em mm;

I = momento de inércia do corpo-de-prova (Tabela 14)

Os valores correspondentes a resiliência (U_{rf}) e a tenacidade (U_{tf}) na flexão, estão representados em gráficos de tensão x deformação, de acordo com as respectivas imagens (a) e (b) da Figura 65, os quais foram plotados mediante as informações fornecidas pelos relatórios dos ensaios de tração na flexão.

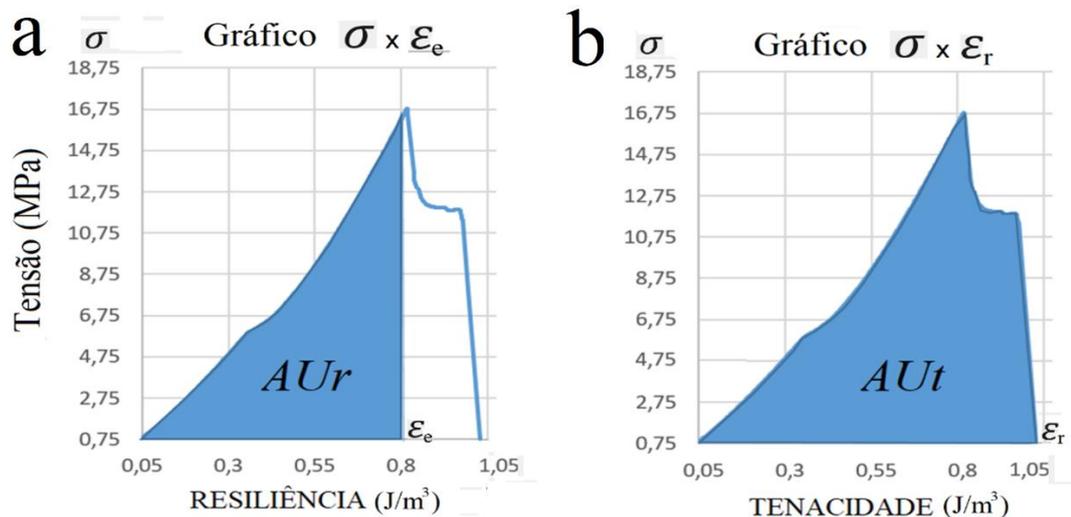


Figura 65: Gráficos tensão x deformação, relativos as áreas dos módulo de resiliência e de tenacidade.
Fonte: Autor.

Essas duas propriedades foram obtidas por intermédio das equações 32 e 33, que determinam as energias acumuladas por unidade de volume, correspondentes as áreas sob as curvas apresentadas em seus respectivos gráficos. Sendo o módulo de resiliência (U_{rf}) calculado no regime elástico, até o limite da proporcionalidade.

$$U_{rf} = \sum_0^{\varepsilon_p} \sigma_e \cdot \varepsilon_e \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

U_{rf} = resiliência em flexão, expressa em J/m³;

σ_e = tensões no regime elástico, expresso em MPa;

ε_e = deformações no regime elástico;

ε_p = deformação no limite da proporcionalidade, antes do rompimento da matriz.

O módulo de tenacidade na flexão (U_{tf}), foi determinado considerando as deformações e tensões, que ocorreram nos regimes elástico e plástico, e que provocaram o rompimento da matriz e tração nas fibras mais externas dos corpos-de-prova até o limite da sua ruptura, de acordo com a expressão a baixo.

$$U_{tf} = \sum_0^{\varepsilon_e} \sigma_e \cdot \varepsilon_e + \sum_{\varepsilon_e}^{\varepsilon_r} \sigma_r \cdot \varepsilon_r \quad \text{Equação 33}$$

Onde:

U_{tf} = tenacidade em flexão, expressa em J/m³;

σ_r = tensões no regime plástico, até o limite da ruptura, expresso em MPa;

ε_r = deformações no regime elástico, até o limite da ruptura.

3.3.4.4.2 Ensaios físicos da placa nervurada

Após os ensaios de flexão e tração direta, os corpos-de-prova rompidos, extraídos da placa nervurada de referência (sem reforço), foram recortados para a retirada de testemunhos, reaproveitando as partes não afetadas. Essas amostras, serviram para determinar as propriedades físicas, como a densidade aparente, que foi elaborado de acordo com a norma NBR 15498 (2016), para os cálculos da absorção de água por imersão, do índice de vazios e das massas específicas de amostras secas e saturadas, em conformidade com a norma NBR 9778 (2005).

Para os ensaios de impermeabilidade das placas nervuradas, as amostras foram recortadas de todos os corpos-de-prova rompidos nos ensaios de flexão, retirando os testemunhos das partes que, não foram afetados nos ensaios de flexão. Os ensaios foram efetuados, de acordo com a norma NBR 5642 (1993).

3.3.4.4.2.1 *Ensaio da densidade aparentes*

Para os ensaios e cálculos, referidos no parágrafo anterior, foram recortadas 12 (doze) amostras, medindo 50x40mm, com a espessura de 5 mm, extraídas da capa da placa nervurada. De acordo com a norma NBR 15498 (2016), o ensaio consistiu em:

- Saturar as amostras, imersas em uma bandeja com água, por um período mínimo de 24 horas;
- Transcorridos as 24 horas de imersão, as amostras foram retiradas da água, e as suas superfícies enxugadas com um pano úmido;
- depois, foram efetuadas as pesagens, das amostras saturadas, para determinar a massa úmida (m_{sat});
- na sequência, as amostras saturadas, foram imersas no sexto da balança hidrostática, para pesagem, com a finalidade de serem determinadas as massas imersas (m_{ime});
- finalizando os procedimentos, as amostras foram secadas por 24 horas em estufa na temperatura de 100 a 110°C;
- então, foram efetuadas as pesagens, para a determinação da massa final (m_{sec}).

Para a elaboração do cálculo da densidade aparente, relativa ao volume da amostra, a norma NBR 15498 (2016) recomenda a expressão abaixo:

$$\rho = \frac{m_{sec}}{V} \quad \text{Equação 34}$$

ρ = densidade aparente, expresso em g/cm³;

m_{sec} = massa das amostras seca, expressa em g;

V = volume da amostra, expresso em cm³.

Os ensaios de densidade aparente, foram elaborados no laboratório de nano tecnologia do IFAM e no laboratório de pavimentação da UFAM. Nas imagens da Figura 66, são demonstrados as amostras, equipamentos e utensílios utilizados nos ensaios. Da esquerda para

direita, modelos de amostras (a), imersão das amostras (b), balança hidrostática (c) e estufa de secagem (d).



Figura 66: amostras (a); amostras imersas (b); balança hidrostática digital (c); e estufa elétrica (d).
Fonte: Autor.

3.3.4.4.2.2 Ensaios da absorção de água.

Os ensaios de absorção de água, foram efetuados conjuntamente com os ensaios da densidade aparente, portanto, os mesmos dados de massa apurados, foram utilizados nos cálculos da absorção de água, para o que, foi empregada a seguinte expressão, recomendada pela norma NBR 9778 (2005):

$$abs = \frac{m_{sat} - m_{sec}}{m_{sec}} \cdot 100 \quad \text{Equação 35}$$

onde:

abs = absorção de água, expresso em %;

m_{sat} = massa da amostra saturada, expresso em g.

m_{sec} = massa da amostra seca, expressa em g.

3.3.4.4.2.3 Determinação do índice de vazios

Para a determinação do índice de vazios, foram utilizados nos cálculos os mesmos valores apurados nos ensaios de densidade aparente e utilizada a formula a seguir, recomendada pela norma NBR 9778 (2005):

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_{sec}}{m_{sat} - m_{ime}} \cdot 100 \quad \text{Equação 36}$$

onde:

I_v = índice de vazios, expresso em %;

m_{sat} = massa da amostra saturada, expresso em g;

m_{sec} = massa da amostra seca, expressa em g;

m_{ime} = massa da amostra saturada, imersa, expressa em g.

3.3.4.4.2.4 Determinação da massa específica seca

A massa específica para uma substância seca (μ_{sec}), independente do volume da amostra, foi determinada de acordo com a expressão a seguir, recomendada norma NBR 9778 (2005).

$$\mu_{sec} = \frac{m_{sec}}{m_{sat} - m_{ime}} \quad \text{Equação 37}$$

onde:

μ_{sec} = massa específica seca, expresso em g;

m_{sat} = massa da amostra saturada, expresso em g;

m_{sec} = massa da amostra seca, expressa em g;

m_{ime} = massa da amostra saturada, imersa, expressa em g.

3.3.4.4.2.5 Determinação da massa específica saturada

A massa específica para uma substância saturada (μ_{sat}), independente do volume da amostra, foi determinada de acordo com a expressão a seguir, NBR 9778 (2005).

$$\mu_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_{ime}} \quad \text{Equação 38}$$

onde:

μ_{sat} = massa específica saturada, expresso em g;

m_{sat} = massa da amostra saturada, expresso em g;

m_{ime} = massa da amostra saturada, imersa, expressa em g.

3.3.4.4.2.6 Ensaios de impermeabilidade da placa nervurada

Os ensaios de impermeabilidade das placas nervuradas, foram efetuados, de acordo com a norma NBR 5642 (1993), que prescreve o método de determinação da impermeabilidade em telhas onduladas e chapas estruturais de fibrocimento. O método aplicado, é semelhante ao da norma NBR 15498 (2016), recomendada para os ensaios de chapas cimentícias, sem amianto. Que foi inviabilizada, devido aos tamanhos das mostras, que foram reaproveitadas das partes não afetadas, dos corpos-de-prova de flexão, permitindo apenas as dimensões de 100x100 mm.

A partir das amostras recortadas, foram montados 12 (doze) corpos-de-prova, de acordo com a norma NBR 5642 (1993) e com Melo Filho (2005), utilizando tubo de PVC 40 e silicone transparente, para colar e vedar, conforme demonstrado nas imagens (a) e (b) da Figura 67.

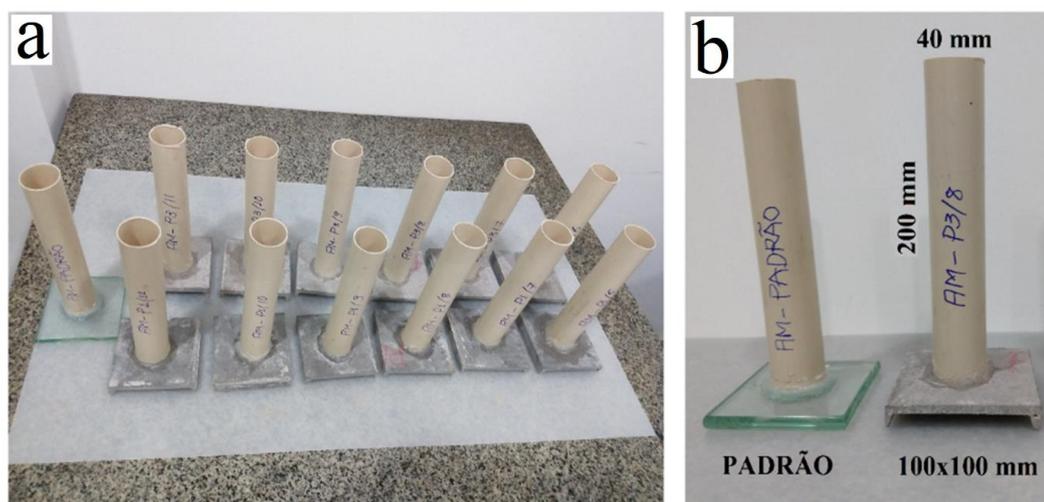


Figura 67: corpos-de-prova utilizados nos ensaios de impermeabilização (a); dimensões do corpo-de-prova (b).
Fonte: Autor.

Conforme demonstrado na imagem (a) da Figura 67, além das 12 (doze) amostras, foi feito um corpo-de-prova padrão, utilizando no lugar da amostra da placa, uma placa de vidro de 100x100 mm, para garantir que não houvesse vazamento.

Os procedimentos dos ensaios de impermeabilização, consistiram no preenchimento do tubo com água e na verificação dos fundos, após 24 hora de repouso. De acordo com a norma referida, os corpos-de-prova são considerados conformes, quando não existirem gotejamentos nos fundos.

Neste trabalho, além do que prescreve a norma, a avaliação da impermeabilidade das chapas nervuradas, também foi feita por intermédio das passagens das massas dos corpos-de-prova secos (CP_{seco}) em relação, quando estavam cheiros (CP_{cheio}) de água, sendo tomadas antes

e depois de 24 horas em repouso. O corpo-de-prova padrão, foi utilizado para medir a perda de massa de água para o ambiente durante as 24 hora, cujo valor foi subtraído dos demais.

Os procedimentos desses ensaios, foram elaborados num ambiente com temperatura controlada de $20^{\circ}\text{C} \pm 1$, do laboratório de nano tecnologia do IFAM, para o que foi utilizada uma balança digita de precisão. Conforme demonstrada a Figura 68



Figura 68: pesagem da massa do corpo-de-prova com água, na determinação da impermeabilidade.
Fonte: Autor

Para a determinação da impermeabilidade, da placa nervurada, considerando a massa de água inicial ($m_{inicial}$), a massa de água final (m_{final}) pesada após 24 horas e a massa de água cedida ao ambiente (m_{cedida}), foram utilizadas as seguintes expressões:

$$m_{inicial} = CP_{cheio} - CP_{seco} \quad \text{Equação 39}$$

$$m_{final} = CP_{ch24} - CP_{seco} \quad \text{Equação 40}$$

$$m_{cedida} = m_{final} - m_{inicial} \quad \text{Equação 41}$$

$$\% \text{ residual} = \frac{m_{cedida} - mp_{cedida}}{m_{inicial}} \cdot 100 \quad \text{Equação 42}$$

onde:

$m_{inicial}$ = massa de água, após preenchimento do CP, expresso em g;

m_{final} = massa de água após 24 horas do preenchimento do CP, expresso em g;

m_{cedida} = massa de água cedida ao ambiente após 24 horas, expresso em g;

mp_{cedida} = massa de água do CP padrão, cedida ao ambiente, expresso em g;

CP_{seco} = massa do corpo-de-prova seco, expresso em g;

CP_{cheio} = massa do corpo-de-prova cheio de água, expresso em g;

CP_{ch24} = massa do corpo-de-prova cheio de água após 24 horas, expresso em g;

3.3.4.4.2.7 Microscopia ótica - aspectos da microestrutura da matriz cimentícia

Nesse procedimento, foram verificados os aspectos da microestrutura da matriz cimentícia, por intermédio de imagens digitais produzidas através da microscopia ótica, visando observar, as interações internas da matriz cimentícia, com a armadura têxtil, com o tecido de juta e com os agregado, alinhado com o artigo de Melo filho (2005), para o que, foi utilizado o microscópio eletrônico, invertido para rotina avançado, modelo AXIO Vert, A1 marca Zeiss, instalado no laboratório de nano tecnologia do IFAM, demonstrado na Figura 69.

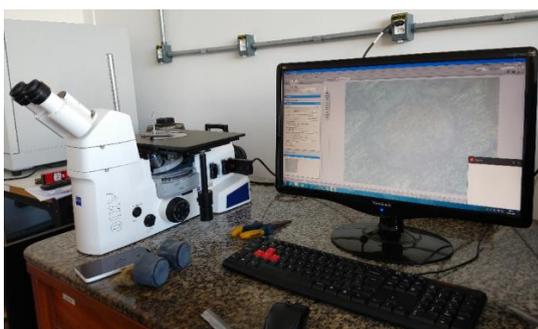


Figura 69: equipamento utilizado na microscopia ótica.
Fonte: autor.

As amostras, utilizadas na microscopia ótica, foram retiradas de zonas de rompimento dos corpos-de-prova, utilizados nos ensaios mecânicos. Foram reaproveitadas, de partes do corpo-de-prova, que apresentavam transversalmente, os cordões da armadura têxtil e do tecido de juta, no interior da matriz cimentícia. Para tornar possível as tomadas das imagens, as amostras, sofreram retificações por esmerilhamento, depois, foram desbastadas e sofreram sucessivos lixamentos e polimentos manuais, utilizando folhas de lixas d'água com gramaturas de n° 200, 400, 600 e 1200 micras (MELO FILHO, 2005), conforme demonstra a Figura 70.



Figura 70: amostras dos corpos-de-prova, com armadura têxtil e com tecido de juta, utilizadas na microscopia.
Fonte: autor.

4 CAPÍTULO - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados e análises dos ensaios empregados nas caracterizações dos materiais, que compõem o compósito da forma colaborante, descritos no capítulo 4.1, também os resultados e análises dos ensaios empregados nos procedimentos experimentais, referentes ao desenvolvimento da armadura têxtil, ao desenvolvimento da matriz cimentícia e ao desenvolvimento da placa nervurada do compósito.

4.1 RESULTADO DA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Neste item, são apresentados os resultados dos ensaios, para caracterização dos materiais que compõem o compósito da forma colaborante cimentícia, como o cimento, a sílica ativa, o pó de brita e o tecido de juta.

4.1.1 Resultados das composições químicas dos materiais

Na Tabela 15, apresenta os resultados dos ensaios de espectrometria por FRX, dos principais elementos dos materiais que compõem o compósito da forma colaborante.

Tabela 15: composição química dos materiais

MATERIAL	MgO %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	SO ₃ %	Cl %	K ₂ O %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %
Tecido e juta	0,63	9,34	22,2	12,7	-	1,492	5,32	36,3	9,39
Sílica ativa	2,61	0,56	87,4	0,42	1,10	0,620	2,81	0,71	3,15
Pó de brita	2,57	15,7	61,6	0,82	-	0,014	4,41	4,72	9,16
Cimento Portland	1,13	3,42	14,7	0,28	4,25	0,080	1,85	69,6	3,66
Limites % (NBR)	≤ 6,5	-	-	-	≤ 4,0	-	-	-	-

Fonte: autor

Os elementos das composições químicas dos materiais da Tabela 15, estão expressos em óxidos. Os resultados mostram que muitos elementos são comuns a todos materiais analisados, com exceção, do tecido de juta e do pó de brita que não apresentam o SO₃, no entanto, esse elemento químico está presente no cimento num teor um pouco acima do limite de 4,0 % especificado pela norma NBR 5732 (1991) e em teores menores na sílica ativa. O

SO_3 é introduzido na composição do cimento por intermédio da *gipsita*, que tem um efeito retardador sobre as aluminatos e acelerador na hidratação dos silicatos, portanto, é indicado um teor específico de *gipsita* para o desempenho ótimo do cimento (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os teores de MgO apresentados em todos os materiais, estão bem a abaixo do limite de 6,0 %, ressaltando-se que, quando esse limite é extrapolado em demasia, causa desvantagens na hidratação do cimento: $MgO + H_2O \Rightarrow Mg(OH)_2$, isso provoca o aumento do volume e produz sais solúveis que enfraquecem o concreto quando exposto a lixiviação (NOBRE, 2018).

Um outro limite fixado pela norma é o de $\leq 3,0$ % de CO_2 , o qual não foi detectado nos ensaios de FRX. Nota-se também que, o elemento químico SiO_2 são preponderantes na sílica ativa e no pó de brita, nos respectivo teores de 87,4 e de 61,5%. Teores nessas proporções influenciam positivamente na resistência, na estabilidade dimensional, na durabilidade e no custo do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os demais elementos químicos contidos nos matérias, apresentam teores dentro do especificado em literaturas e catálogos de fornecedores. Na Tabela 16, apresentam também os resultados de duas outras análises químicas do cimento Portland, elaboradas no laboratório da KONKREX e respectivos limites especificados pela norma NBR 5732 (1991).

Tabela 16: Ensaios químicos do cimento Portland comum CP I-S 40. realizado na Konkrex

ANÁLISE QUÍMICA	RESULTADO	ESPECIFICADO
Perda ao Fogo (PF)	0,86 %	$\leq 4,50$ %
Resíduo insolúvel (RI)	0,21 %	$\leq 5,00$ %

Fonte: adaptado de (KONKREX, 2018).

Os limites estabelecidos pela referida norma, são específicos para o cimento, e como pode ser observado o lote nº 0109635 (anexo C) do cimento Portland comum CP I-S 40, encontra-se dentro dos parâmetros das exigências químicas fixadas.

4.1.2 Resultados das estruturas cristalinas dos materiais

Os resultados das análises dos ensaios de DRX, para identificação das estruturas dos materiais de insumos da forma colaborante, são apresentados a seguir, com as apresentações dos difratogramas. A Figura 71, apresenta difratogramas com os principais elementos do cimento Portland comum CP I-S 40, do pó de brita e da sílica ativa.

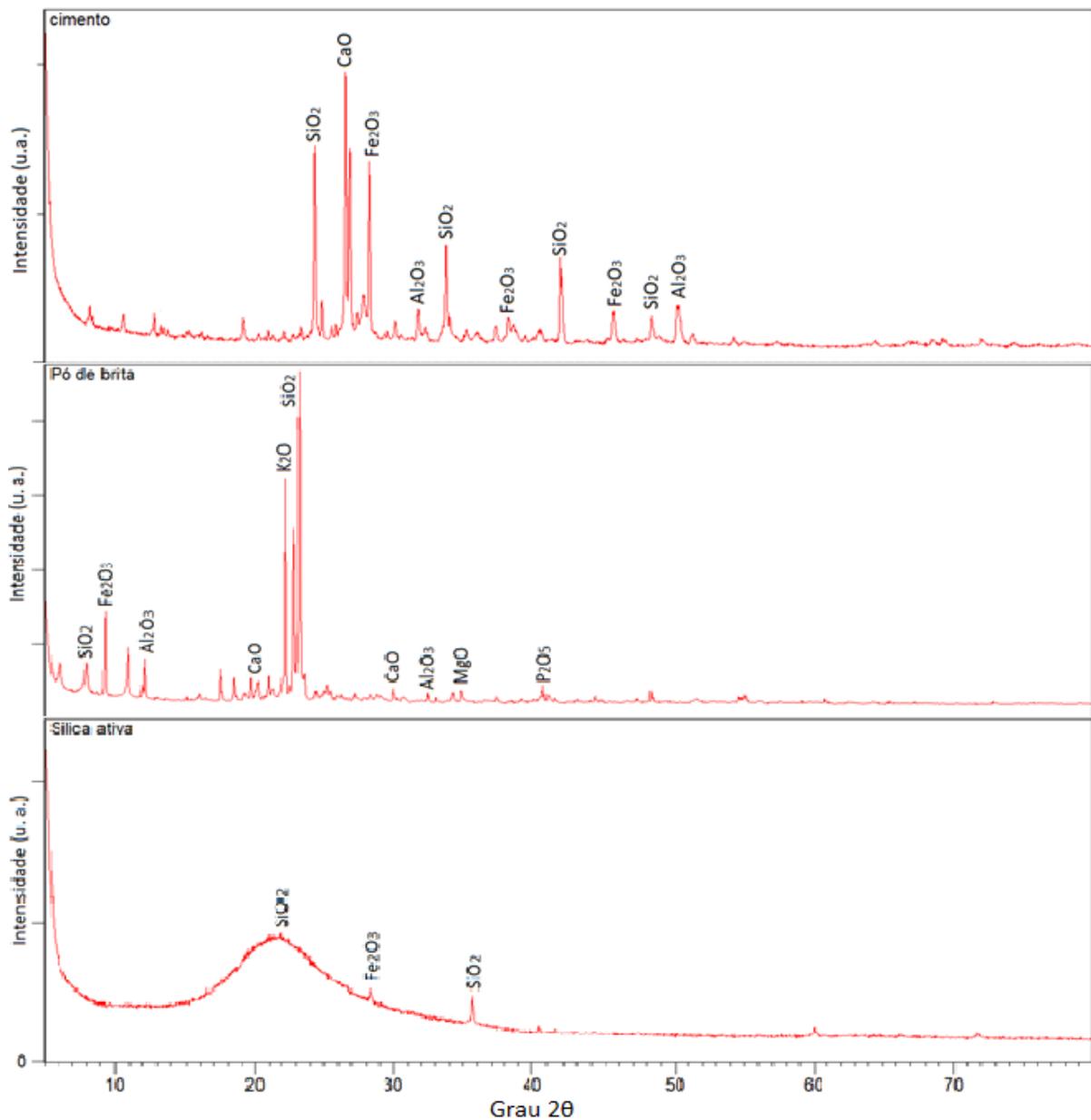


Figura 71: difratogramas do cimento, pó de brita e da sílica ativa
 Fonte: autor.

Conforme informado anteriormente, esses materiais fazem parte da composição da matriz cimentícia e interagem quando hidratados. Considerando a terminologia usual, para os quatro elementos principais do cimento: C= CaO ; A= Al_2O_3 ; S= SiO_2 ; F= Fe_2O_3 e H= H_2O , intui-se que neste material, devido a presença de picos desses óxidos em seu difratograma, estejam presentes alita $C_3S = (3.CaO).(SiO_2)$, belita $C_2S = (2.CaO).(SiO_2)$, ferrita $C_4AF = (4CaO).(Al_2O_3).(Fe_2O_3)$ e aluminato $C_3A = (3CaO).(Al_2O_3)$, (THOMAZ *et al.*, 2008).

Quando os elementos químicos do cimento são hidratados, formam uma pasta que segundo Mehta; Monteiro (1994), apresenta quatro fases sólidas, sendo: cristais de silicato de

cálcio hidratado (C-S-H); cristais de hidróxido de cálcio (CH) ou portlandita; cristais prismáticos aciculares sulfatoaluminato que geralmente favorece a formação de trissulfato hidratado, que cristaliza em monossulfato hidratado (C_4ASH_{18}) ou etringita; e grãos de clínquer não hidratados.

No difratograma do pó de brita, intui-se também a presença de C, S, F e A, que diferente dos elementos químicos do cimento não são anidros, portanto, não entram em reações complexas com a água, por isso, são considerados supostamente como materiais quimicamente inertes, (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Além desses elementos químicos, observa-se no difratograma, picos de óxido de potássio (K_2O), de óxido de magnésio (MgO) e de Pentóxido de fósforo (P_2O_5) que podem resultar em reações deletérias expansivas nos interstícios do concreto. No entanto, para prevenir e ou minimizar essas possíveis reações, neste trabalho, foi adicionado durante a dosagem do concreto, 10% de sílica ativa em relação ao peso do cimento.

O difratograma, da sílica ativa, apresentado na Figura 71, mostra que é um material amorfo e constituído essencialmente de SiO_2 . Quando se adiciona a sílica ativa na mistura do concreto ela reage com o C-H do cimento, produzindo-se assim um efeito cimentício adicional, formando mais C-S-H, e mantendo os álcalis menos disponíveis para reagirem com certos minerais de sílica nos agregados (SOARES, 2014).

A Figura 72, mostra o difratograma da fibra do tecido de juta, onde pode ser observado regiões apresentando estruturas cristalinas com picos de difração e índice de cristalinidade no valor de CrI= 55,4% e regiões amorfas em maior proporção.

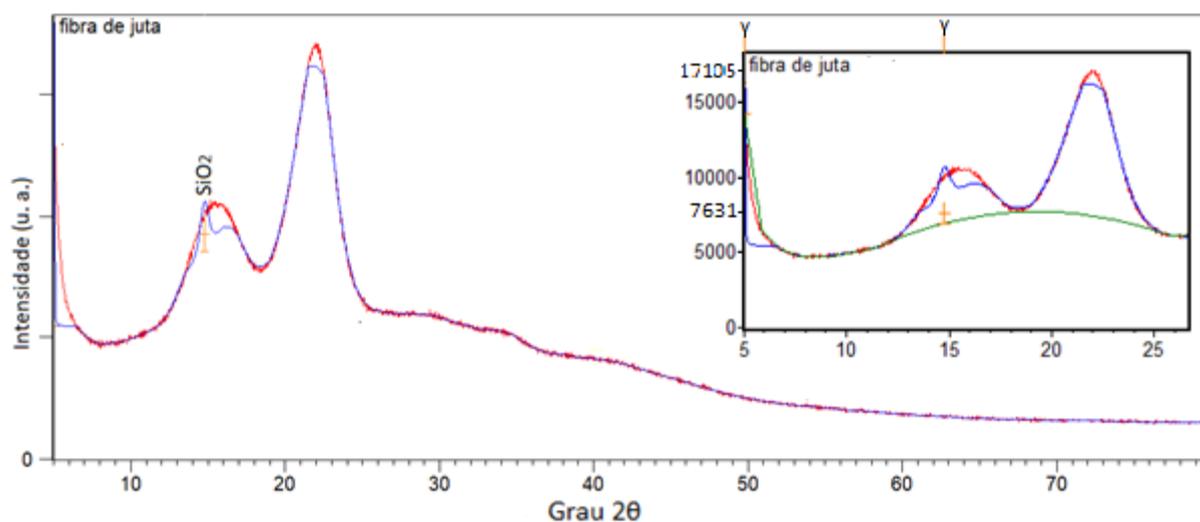
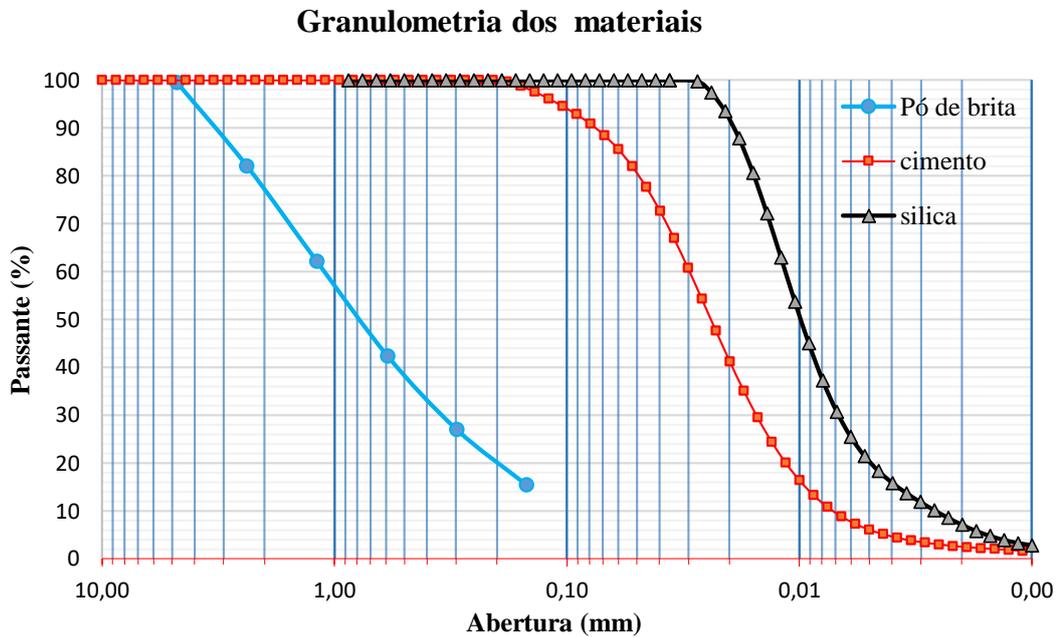


Figura 72: difratograma da fibra de juta.
Fonte: autor.

4.1.3 Resultados da Composição Granulométrica dos Materiais

As curvas das composições granulométricas dos materiais que compõem a matriz cimentícia deste trabalho são apresentadas na Figura 73.



de acordo com as especificações dos fabricantes e com relação ao pó de brita, as partículas de interesse deste trabalho, estão dentro da faixa granulométrica de 0,425 à 0,106 mm, abrangidas pelo retângulo em vermelho, indicado na Figura 74.

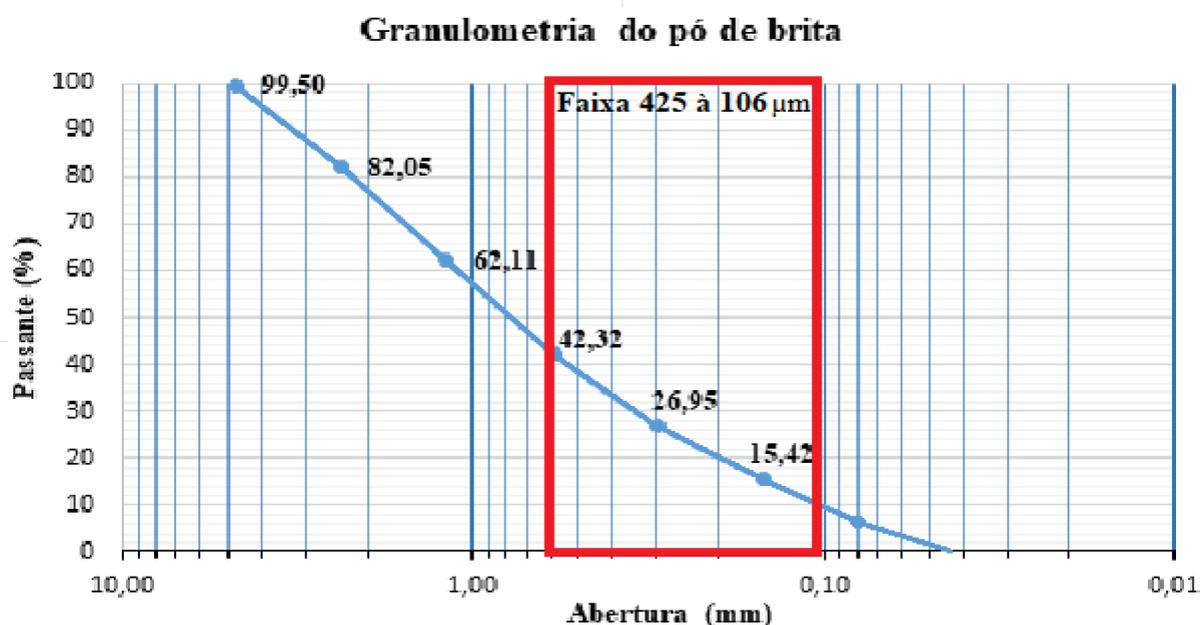


Figura 74: curva da distribuição granulométrica do pó de brita.
Fonte: autor.

O relatório com os resultados do procedimento de peneiramento, que forneceram os dados para a plotagem da curva da distribuição granulométrica do pó de brita, estão apresentados na Tabela 18. De onde foram obtidos os valores do módulo de finura MF = 2,72 mm e do diâmetro máximo do agregado DM = 4,76 mm.

Tabela 18: relatório da distribuição granulométrica do pó de brita

SÉRIE NORMAL		MASSA RETIDA				MASSA
PENEIRA	ABERTURA	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	MÉDIA	ACUMULADA	PASSANTE
Nº	mm	g	g	%	%	%
4	4,76	2,59	2,39	0,50	0,50	99,50
8	2,38	82,89	89,97	17,45	17,95	82,05
16	1,19	98,98	98,55	19,94	37,89	62,11
30	0,59	97,77	98,35	19,80	57,68	42,32
50	0,297	76,47	75,78	15,37	73,05	26,95
100	0,149	56,61	57,61	11,53	84,58	15,42
	FUNDO	76,84	75,93	15,42	100,00	
	TOTAL	492,15	498,58	100,00		

Fonte: Autor.

4.1.4 Resultado das Áreas das superfícies específicas

As áreas das superfícies específicas do cimento Portland e da sílica ativa, foram obtidas, utilizando as informações extraídas dos Laudos de análise sedimentométrica do método de granulometria à laser (anexo B), fornecidos pelo LAMIN-Manaus-CPRM. Os resultados estão relacionadas na Tabela 19.

Tabela 19: Resultados das áreas das superfícies específicas

MATERIAL	RESULTADO LASER	ESPECIFICADO FABRICANTE	LIMITE NBR
Cimento Portland	534 m ² /kg	390,7 m ² /kg	≥ 280 m ² /kg
Sílica ativa	13.900 m ² /kg	20.000 m ² /kg	-

Fonte: autor

Observa-se na Tabela 19, que foi obtido para a área da superfície específica do cimento um valor de 534 m²/kg, e consta no certificado do produto n° 002-18-CPIS40 (anexo C), um valor equivalente de 390,7 m²/kg, para o qual, a norma fixa valores ≥ 280 m²/kg. Mostra que os dois valores obtidos satisfazem a exigência normativa. Com relação ao resultado da área da superfície específica da sílica ativa, se encontra 30% abaixo do especificado pelo fabricante.

4.1.5 Resultados da caracterização do Pó de Brita

Neste item, são apresentados os resultados dos ensaios de material pulverulento e do teor de impureza, para a caracterização do pó de brita.

4.1.5.1 Resultado de material pulverulento

Conforme os procedimentos descritos anteriormente de acordo com a norma NBR NM 46 (2006), foi obtido o valor médio de 6,615 % , superior ao que determina a norma, que limita esse valor em um teor ≤ 5%.

4.1.5.2 Resultado do Teor de impureza

Conforme mostrado na imagem (b) da Figura 75, a solução com a amostra apresentou-se mais clara do que a da padrão, o que implica em afirmar que o pó de brita é um material que não contém impureza húmica e a coloração que ele apresenta, é devido as nanopartículas características do pó de brita em suspensão no líquido.

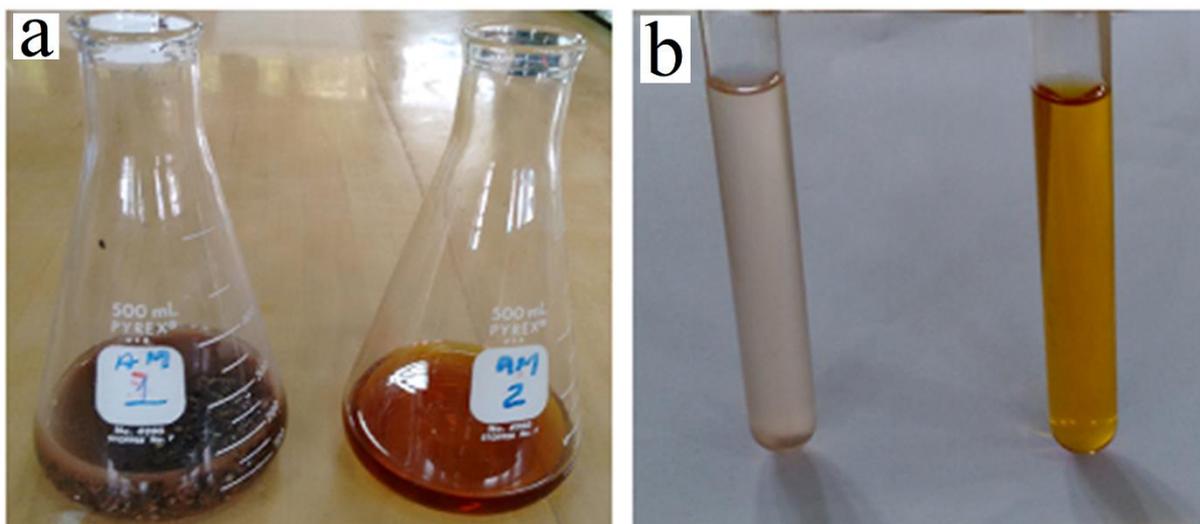


Figura 75: materiais utilizado (a); comparação colorimétrica do teor de impureza (b).
Fonte: autor

4.1.6 Resultados da caracterização do cimento

Neste item, são apresentados os resultados do ensaios para a determinação da consistência da pasta normal, do tempo de pega, da finura, da expansividade e da resistência à compressão do cimento.

4.1.6.1 Resultado da determinação da consistência da pasta normal

O resultado do ensaio de caracterização do cimento para a determinação da consistência da pasta normal, correspondeu ao teor de 28,8% de água, equivalente a uma relação A/C de 0,288. Esse valor foi obtido de acordo com o método prescrito na norma NBR16606 (2017).

4.1.6.2 Resultado do Tempo de pega do cimento

Os ensaios para a determinação do tempo de início e fim de pega do cimento, foram elaborados de acordo o método prescrito na norma NBR 16607 (2017). Sendo obtido para o início da pega, 2 h 09 min. e para o fim da pega, 3 h 39 min. A norma NBR 5732 (1991) fixa limite ≥ 1 hora para o tempo de início de pega e ≤ 10 horas para o fim de pega, sendo assim, os dois tempos estão enquadrados dentro dos tempos fixados pela norma.

4.1.6.3 Resultado da Determinação da finura do cimento.

O resultado foi fornecida pelo LAMIN-Manaus-CPRM, o qual está apresentado na Tabela 20. Vale ressaltar que foram extraídas do laudo somente os valores referentes as partículas retidas acima do tamanho de 75 μm .

Tabela 20: Resultados de medições de distribuição de tamanho de partícula

DIAMETRO DA PARTICULA (μm)	VOLUME RETIDO (%)
79,43	2,37
91,20	1,98
104,71	1,73
120,22	1,57
138,03	1,42
158,49	1,20
181,97	0,86
208,93	0,35
Fração retida	11,49

Fonte: autor

Conforme pode ser observado na Tabela 20, o resultado da percentagem das partículas retidas maiores do que 75 μm , corresponde a 11,5%, para o que, de acordo com a norma NBR 5732 (1991) é fixado um limite de $\leq 10\%$, portanto, está um pouco acima do estabelecido pela norma. Isso poderá implicar em aumento de partículas de clínquer de cimento não hidratadas na matriz endurecida, conforme descreve Metha; Monteiro (2008) “partículas de cimento maiores do que 45 μm são difíceis de hidratar e aquelas maiores do que 75 μm , nunca se hidratam completamente.”

4.1.6.4 Resultados da expansividade e das resistências a compressão

Conforme a Tabela 21, os ensaios de expansividade e de resistência a compressão do cimento Portland realizados no laboratório da KONKREX, estão dentro dos limites fixados pela norma NBR 5732 (1991).

Tabela 21: Características físicas e Propriedades mecânicas do cimento Portland CP I-S 40.

ANÁLISES FÍSICA E MECÂNICA	RESULTADO	ESPECIFICADO
Expansibilidade a quente	0,34 mm	$\leq 5,00$ mm
Resistência à compressão 1 dia	9,9 MPa	-
Resistência à compressão 3 dias	21,5 MPa	≥ 15 MPa
Resistência à compressão 7 dias	30,3 MPa	≥ 25 MPa
Resistencia à compressão 28 dias	-	≥ 40 MPa

Fonte: adaptado de (KONKREX, 2018).

Os resultados relacionados na Tabela 21, foram extraídos do certificado do produto n° 002-18-CPIS40 (anexo C), fornecido pela KONKREX (2018).

4.1.7 Resultados da caracterização das propriedades mecânicas do tecido de juta

Neste item, são apresentados os resultados das propriedades mecânicas, que caracterizaram os tecidos de juta, e a medida máxima adotada para o estiramento admissível dos cordões do tecido de juta, nos procedimentos de pré-tração.

4.1.7.1 Resultado do Ensaio de tração direta no tecido de juta

Na Tabela, são apresentados as carga ($C_{máx}$) e deslocamentos médios, no limite das rupturas, que foram extraídos dos relatórios dos ensaios de tração direta do tecido de juta.

Tabela 22: relatório dos ensaios de tração direta nas amostras de tecido de juta

CORPO DE PROVA	CARGA C_{\max} N	DESLOCAMENTO Des_{\max} m
Tramas -1	189,6	1,236
Tramas -2	223,8	2,221
Tramas -3	242,8	1,859
Tramas -4	172,4	1,734
MÉDIA	207,2	1,762
CV	15,4	23,1
Urdumes -1	223,2	1,240
Urdumes -2	328,8	1,408
Urdumes -3	326,8	1,002
Urdumes -4	342,2	1,435
MÉDIA	305,3	1,271
CV	18,1	15,7

Fonte: autor

Conforme os dados apresentados na Tabela 22, as médias das cargas máximas, apuradas durante os ensaios de caracterização da resistência à tração, do tecido de juta, foram 207,2 e 305,3 N, correspondendo respectivamente aos cordões das tramas e dos urdumes. A diferença entre as duas médias, foi de 98,1 N, que representou 32,1% a mais, de carga no lado dos urdumes. O principal motivo dessa diferença, foi o número maior de cordão (um a mais) no lado dos urdumes. O mesmo fator, também influenciou nos valores dos deslocamentos médios máximos obtidos, de 1,762 mm para as tramas e de 1,271 mm para os urdumes.

Para tender a finalidade dos procedimentos da pré-tração, foi adotado neste trabalho, o valor médio de 1,5 mm, para o estiramento dos cordões do tecido de juta, correspondente ao deslocamento máximo admissível.

4.1.7.2 Resultado da área média da seção do tecido de juta

Os resultados do estudo da área média da secção do tecido de juta, considerando a quantidade e as dimensões dos cordões, que foram obtidos por microscopia óptica e depois digitalizadas no programa Imagem J, estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: resultados das áreas das seções dos cordões do tecido de juta

URDUMES		TRAMAS	
Cordão N°	Área (A_u) (mm ²)	Cordão N°	Área (A_t) (mm ²)
Cordão 1	0,907	Cordão 1	0,785
Cordão 2	0,941	Cordão 2	0,871
Cordão 3	0,902	Cordão 3	0,747
Cordão 4	1,172	Cordão 4	0,992
Cordão 5	0,746	Cordão 5	0,955
Cordão 7	0,917	Cordão 6	1,060
Cordão 7	0,849	Cordão 7	0,795
Cordão 8	1,118	Cordão 8	1,025
Cordão 9	0,781	Área do tecido ($\sum A_t$)	7,229
Área do tecido ($\sum A_u$)			8,332
Área média do cordão (mm ²)			0,915
CV %			13,1

Fonte: autor

Conforme demonstrado na Tabela 23, os valores das áreas obtidas, são variáveis, sendo, esse fato, decorrente do processo fabril dos cordões. As espessuras dos cordões do tecido de juta, apresentam essa irregularidade em toda a extensão de seu comprimento. Portanto, para os cálculos das tensões a tração, foi adotado a área média de 0,915 mm², que envolveu as áreas de todos cordões dos corpos-de-prova das tramas e dos urdumes.

4.1.7.3 Resultado das propriedades mecânicas do tecido de juta

Os comportamentos mecânicos são mostrados nos gráficos das Figura 76 e Figura 77.

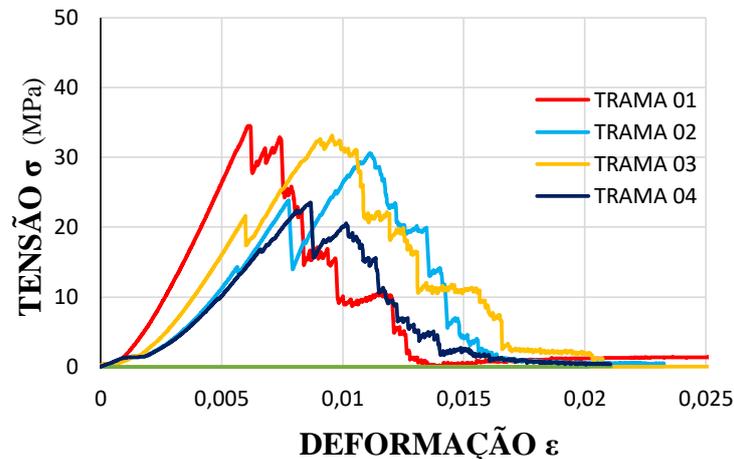


Figura 76: diagrama de tensão x deslocamento no sentido das tramas do tecido de juta.
Fonte: autor.

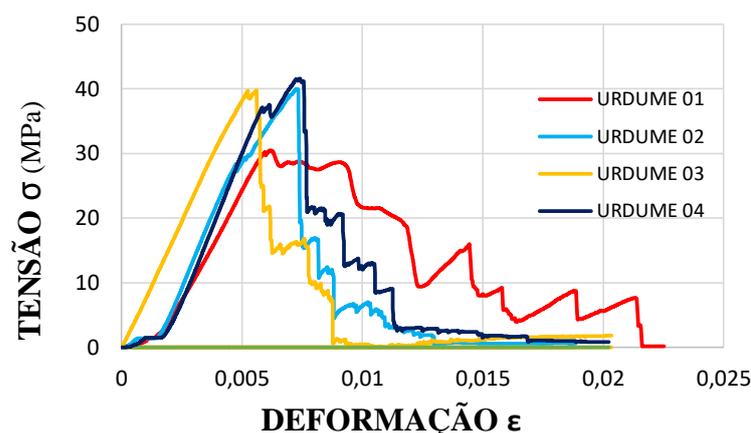


Figura 77: diagrama de tensão x deslocamento no sentido dos urdumes do tecido de juta.
Fonte: autor.

Conforme está evidenciado nos dois diagramas a cima, os maiores picos das curvas, representam as tensões máximas características do tecido de juta. Também todas as áreas formadas abaixo das curvas, que estão localizadas nas zonas elásticas, correspondem aos módulos de resiliência, e as que abrangem as extensões totais das curvas considerando as zonas elásticas e as plásticas, representam, os módulos de tenacidade.

Os resultados dos cálculos, que determinaram, as propriedades mecânicas com a finalidade da caracterização do tecido de juta, são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Resultados dos cálculos da tensões deformações máximas, módulos de resiliência e de tenacidade.

Corpo-de-prova	Direção	Tensão máx σ_{max}		Deformação ϵ_l		Resiliência U_{rf}		Tenacidade U_f	
		MPa	CV (%)	mm/mm	CV (%)	J/m ³	CV (%)	J/m ³	CV (%)
Tecido de juta	Tramas	30,2	15,6	0,0087242	23,1	70,8	25,5	196,7	22,0
	Urdumes	37,9	13,2	0,0063558	15,7	78,4	30,5	209,5	25,5

Fonte: autor

Conforme a Tabela 24, as médias obtidas, para as tensões máximas características do tecido de juta, nos sentido das tramas e dos urdumes, foram respectivamente 30,2 e 37,9 MPa. As deformações máximas características apresentadas, após os cálculos foram de $8,72 \times 10^{-3}$, para as tramas e de $6,36 \times 10^{-3}$ para os urdumes do tecido de juta.

4.2 RESULTADO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Nesse capítulo são apresentados os resultados dos ensaios referentes aos desenvolvimentos da armadura têxtil, da matriz cimentícia e da caracterização da placa nervurada do compósito da forma colaborante cimentícia.

4.2.1 Análise dos resultados dos ensaios do desenvolvimento da armadura têxtil.

Neste item, são apresentados os resultados referentes aos ensaios de absorção da resina epóxi, os resultados dos ensaio de impermeabilidade e os resultados dos ensaio de tração direta na armadura têxtil. Também foi feito um confronto entre as médias das tensões máximas na tração direta, da armadura têxtil, com as do tecido de juta, para comprovar e conhecer qual foi o ganho de resistência da armadura têxtil.

4.2.1.1 Resultados dos Ensaio de absorção da resina de epóxi.

Para determinar a quantidade de resina absorvida pelo tecido de jura, na Tabela 25, estão relacionadas as informações computadas durante os ensaios de absorção. Onde “NATURAL” significa massa da amostra do tecido de juta natural e “IMPREGNADO” a massa da amostra do tecido de juta impregnado e “MASSA” e “TEOR” significam os respectivos resultados obtidos. O “TEMPO”, período de absorção do tecido de juta, expressado em minutos.

Tabela 25: dados e resultados do ensaio de absorção da resina de epóxi

AMOSTRA N°	TEMPO (min)	NATURAL Mn(g)	IMPREGNADO Mi(g)	MASSA Mr (g)	TEOR (%)
1	1	6,05	38,26	32,21	84
2		6,31	38,64	32,33	84
3	2	6,43	42,81	36,38	85
4		6,05	45,82	39,77	87
5	4	6,29	49,24	42,95	87
6		6,19	49,24	43,05	87
7	8	6,36	63,27	56,91	90
8		6,22	63,10	56,88	90
9	16	6,04	61,26	55,22	90
10		5,92	63,34	57,42	91
MÉDIAS		6,19	51,50	45,31	87,5

Fonte: Autor

Conforme pode ser observado na Tabela 25, no processo de transformação do tecido de juta, em armadura têxtil, mostrou que houve um ganho médio de 45,31 g de massa de resina epóxi, o que representou 87,5 % da massa da armadura têxtil. Por outro lado, a massa do tecido de juta, ficou representando apenas, 12,5 % da massa da armadura têxtil. Em vista do exposto, é sensível o domínio das propriedades da resina epóxi, na armadura têxtil, fazendo com que, o tecido se tornasse rígido e mais resistente, após a impregnação, ficando semelhante a uma tela metálica.

Com relação a determinação do tempo ideal de absorção de resina epóxi pelo tecido de juta, no gráfico da Figura 78, está demonstrado a curva do teor x tempo, sendo, o eixo das ordenadas com a unidade dos teores de resina, e no eixo das abcissas, com os tempo em minutos de absorção da resina epóxi.

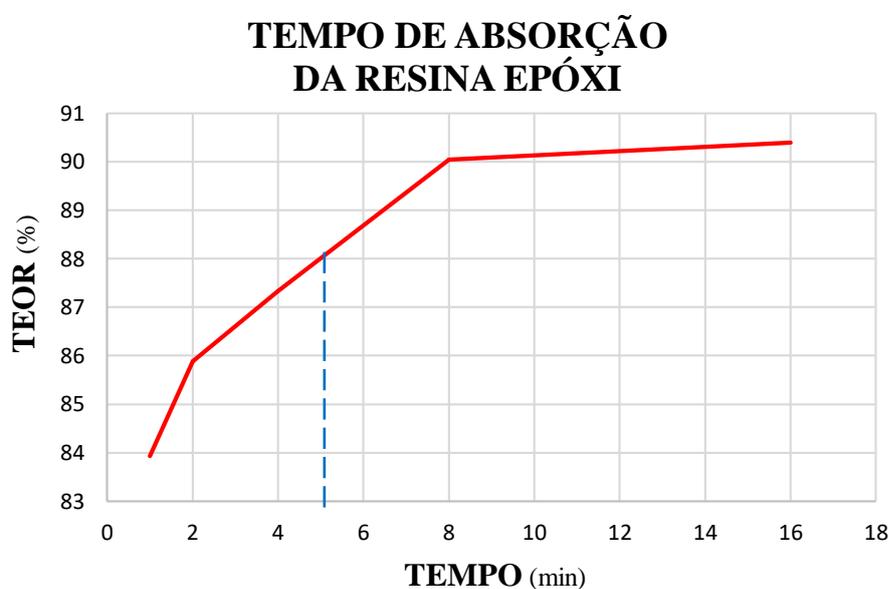


Figura 78: gráfico do tempo de absorção da resina epóxi
Fonte: Autor.

Conforme demonstrado no gráfico, a curva apresenta um patamar, que inicia em 8 (oito) e vai até 16 (dezesesseis) minutos, indicando que não ocorreu mais, absorção significativa de resina pelo tecido de juta. Também é identificado, que o período de tempo entre 2 (dos) e 8 (oito) minutos, apresentou uma velocidade de absorção constante. Portanto, pela mediana do período (em linha azul tracejada), o tempo ideal foi de 5 minutos.

4.2.1.2 Resultados dos Ensaio de permeabilidade da armadura têxtil.

Os resultados e os dados relativos aos ensaios de absorção de água, para avaliação da permeabilidade da armadura têxtil, estão constantes na Tabela 26. Onde é mostrado tanto para o tecido de juta natural, como para a armadura têxtil (tecido impregnado) os pesos iniciais (antes de imergir) e os pesos finais (depois de imerso).

Tabela 26: dados e resultados do ensaio de absorção da resina de epóxi

AMOSTRA N°	PERMEABILIDADE DO TECIDO DE JUTA (PESO)				PERMEABILIDADE DA ARMADURA TEXTIL (PESO)			
	INICIAL Pi (g)	FINAL Pf (g)	ABSORÇÃO		INICIAL Pi (g)	FINAL Pf (g)	ABSORÇÃO	
			(g)	%			(g)	%
1	6,2	16,7	10,5	169,1	63,6	63,8	0,2	0,3
2	6,0	14,9	8,9	147,4	62,0	62,1	0,1	0,2
3	5,9	15,3	9,4	159,1	62,8	63,5	0,6	1,0
4	6,4	16,8	10,4	163,6	63,7	64,3	0,6	0,9
5	6,1	15,3	9,2	152,5	38,7	40,2	1,5	3,8
6	6,1	15,0	8,9	147,8	46,2	47,1	0,9	1,9
7	6,4	15,0	8,6	133,3	43,2	44,7	1,5	3,5
8	6,3	15,7	9,4	149,4	38,8	40,1	1,3	3,4
9	6,3	17,5	11,2	178,6	49,6	50,6	1,0	2,0
10	6,1	15,9	9,8	155,4	48,7	49,1	0,4	0,8
MÉDIA	6,2	15,8	9,6	155,6	51,7	52,5	0,8	1,6

Fonte: Autor

De acordo com a Tabela 26, a quantidade total de água, absorvida pelo tecido de juta em 24 horas de imersão, foi em média 9,6 g, que correspondeu a 1,5 (uma e meia) vezes o seu peso seco médio inicial, que foi de 6,2 g. Nesse trabalho, esse valor foi adotado como parâmetro da capacidade máxima de absorção do tecido de juta.

Considerando que, a armadura têxtil também ficou em imersão por 24 horas, o mesmo período tempo do tecido de juta, e depois desse tempo, foi verificada uma adição em seu peso final, apenas de 0,8 g de água na média. Também que, esse valor conteve parcelas de adsorção física de água na superfície da armadura têxtil. E principalmente porque, o percentual de 155,6 % de absorção do tecido de juta, representou 100 vezes, o obtido na armadura têxtil, que foi de 1,6%. Portanto, essas considerações são razões suficientes para concluir, que não houve absorção pelo armadura têxtil. Na Figura 79, fica mais fácil, fazer a comparação entre as absorções do tecido de juta e da armadura têxtil.



Figura 79: Gráfico dos ensaios de absorção, para a avaliação da permeabilidade da armadura têxtil.
Fonte: Autor.

4.2.1.3 Resultados dos ensaio de tração direta na armadura têxtil.

Neste capítulo, são apresentados os dados e resultados dos ensaios de tração direta, exercidos nos corpos-de-prova da armadura têxtil e para complementar os dados necessários, para os cálculos das tensões máximas, constam na Tabela 27, as áreas médias dos cordões que compuseram as secções dos corpos-de-prova, as quais, foram determinadas em estudo específico.

Tabela 27: dados e resultados do estudo para determinação das áreas médias da seção da armadura têxtil

CORPO-DE-PROVA TRAMAS (mm ²)		CORPO-DE-PROVA URDUMES (mm ²)	
N°	Área (At)	N°	Área (Au)
Cordão 1	1,546	Cordão 1	0,635
Cordão 2	1,576	Cordão 2	1,117
Cordão 3	0,538	Cordão 3	0,637
Cordão 4	0,798	Cordão 4	0,470
Cordão 5	1,156	Cordão 5	0,913
Cordão 6	1,002	Cordão 6	0,913
Cordão 7	1,079	Cordão 7	0,936
Cordão 8	1,305	Cordão 8	0,950
MÉDIA	0,925	Cordão 9	1,011
CV	32,6	MÉDIA	0,842
ADOTADO	0,881 mm²	CV	25,1

Fonte: Autor

As imagens capturadas, que possibilitaram, por intermédio do programa IMAGEM J, a determinação das áreas relacionadas na Tabela 27, foram tomadas nos locais, onde ocorreram o rompimento de cada cordão. Nota-se que, as áreas médias, apresentaram grandes variações, em relação as direções dos cordões, a que são correspondentes na malha da armadura têxtil. No entanto, a diferença entre as duas médias, ficou em torno de 9 a 10 %. Devido a esse fato, optou-se em adotar, o valor da média geral das áreas, nos cálculos das tensões de tração, o que envolveu os urdumes e tramas, sem descartar os maiores desvios, resultando em 0,881 mm², a área média de um cordão da malha.

A Tabela 28, apresenta os dados dos ensaios de tração direta, como as cargas máximas e os deslocamentos máximos.

Tabela 28: informações apuradas durante os ensaios de tração direta na armadura têxtil

Corpo-de-prova	Sentido do Cordão	Carga Máxima C_{max} (N)	Deslocamento Máximo $\Delta\ell_{max}$ (mm)
AM 01	Tramas	433,8	1,437
AM 02	Tramas	445,8	1,603
AM 03	Tramas	404,0	1,490
AM 04	Tramas	450,6	1,258
Média		433,6	1,420
CV		4,8	9,9
AM 05	Urdumes	610,0	1,464
AM 06	Urdumes	445,4	2,149
AM 07	Urdumes	606,4	1,431
AM 08	Urdumes	507,2	1,160
Média		542,3	1,551
CV		14,8	27,2

Fonte: Autor

Conforme os dados apresentados na Tabela 28, as médias das cargas máximas, apuradas durante os ensaios da armadura têxtil, foram 433,6 e 542,3 N, correspondendo respectivamente aos cordões das tramas e dos urdumes. A diferença entre as duas médias, foi de 108,7 N, que representou 20% de carga a mais, no lado dos urdume, sendo as principais causas dessa diferença, o número maior de cordão (um a mais) e conseqüentemente, uma maior superfície impregnada. O mesmos fatores, também influenciaram nos valores dos deslocamentos médios máximos obtidos, de 1,420 mm para as tramas e de 1,551 mm para urdumes.

Os gráficos das Figura 80 e Figura 81, demonstram o comportamento mecânico dos corpos-de-prova da armadura têxtil nos sentidos das tramas e dos urdumes, sob ação de tração direta.

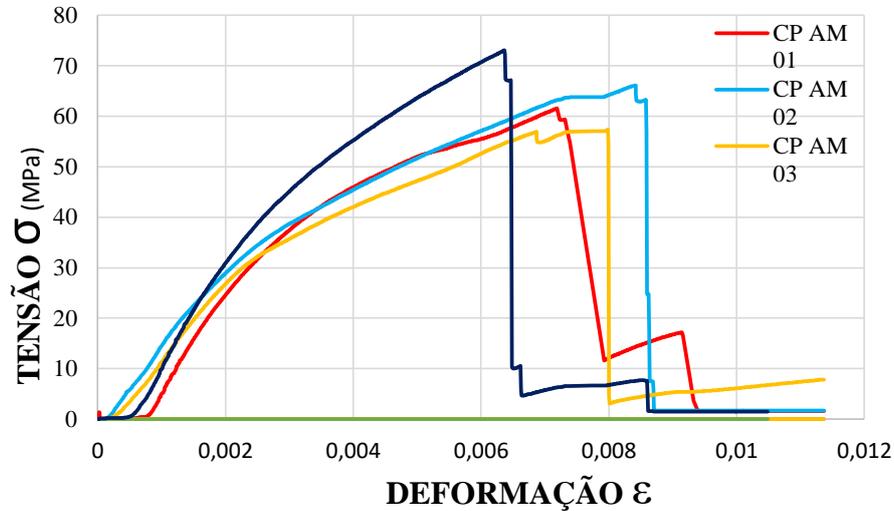


Figura 80: Gráfico de tensão x deformação dos corpos-de-prova da armadura têxtil, no sentido das tramas. Fonte: Autor.

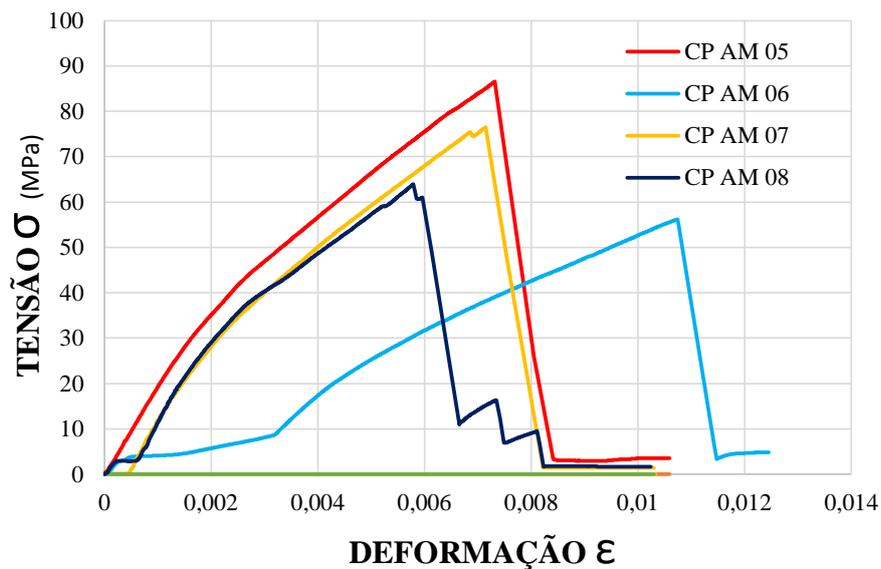


Figura 81: Gráfico de tensão x deformação dos corpos-de-prova da armadura têxtil, no sentido dos urdumes. Fonte: Autor.

Na Tabela 29, são apresentados os resultados das determinações das propriedades adquiridas pelo tecido de juta, após ser transformada em armadura têxtil.

Tabela 29: Resultados das tensões, das deformações médias máximas, resiliência e tenacidade da armadura têxtil

Corpo-de-prova	Sentido do cordão	Tensão máxima		Deformação máxima		Resiliência à tração		Tenacidade à tração	
		σ_{max} MPa	CV (%)	ϵ_{max}	CV (%)	U_{rf} J/m ³	CV (%)	U_{tf} J/m ³	CV (%)
Arm. têxtil	Tramas	63,7	10,7	$7,10 \times 10^{-3}$	10,1	282,1	12,5	314,1	8,3
Arm. têxtil	Urdumes	70,8	19,0	$7,76 \times 10^{-3}$	27,2	292,1	23,2	315,4	18,8

Fonte: Autor

A diferença entre as médias das tensões máximas, foi de aproximadamente 10%, mas, entre as deformações, foi entorno de 8,5 %. Com relação a resiliências e a tenacidades, praticamente foram os mesmos valores entre os lados da armadura têxtil, foram poucas as diferenças, sendo de 3,4 % entre as resiliências e de 0,4% entre as tenacidades.

O gráfico da Figura 82, apresenta os confrontamentos entre as médias das tensões máximas na tração direta, da armadura têxtil, com as do tecido de juta. Conforme legendado, as colunas em bege, representam o tecido de juta e as em azul, a armadura têxtil.

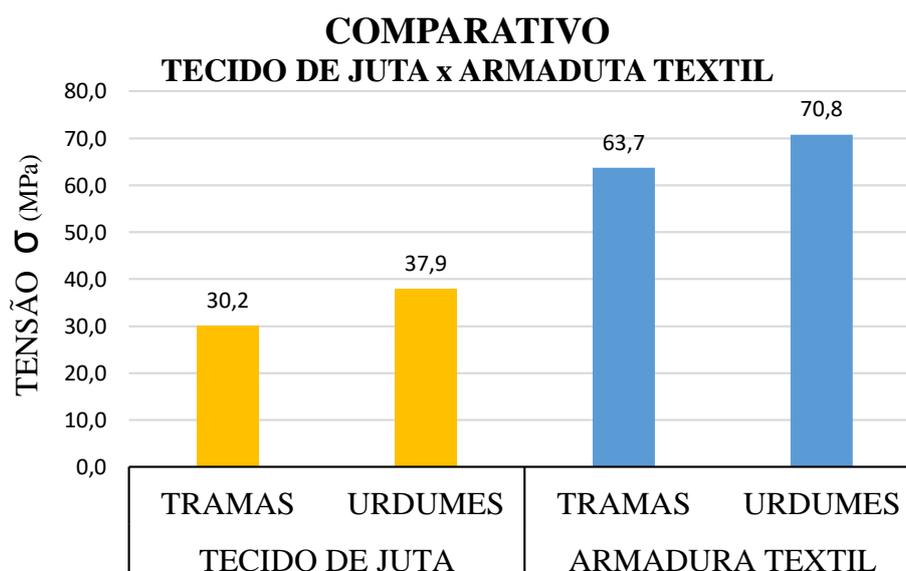


Figura 82: Gráfico comparativo entre as médias das tensões máximas do tecido de juta e da armadura têxtil.
Fonte: Autor

Na comparação observa-se que, foram necessárias, tensões maiores para romper os corpos-de-prova das armaduras têxtil, do que, para romper os do tecido de juta. A diferença apresentada entre as tensões máximas dos dois tipos de corpos-de-prova dos urdumes, foi de

aproximadamente 33 MPa, o que, representou um acréscimo de 86,8% a mais de tensão, após o tecido de juta ter sido impregnado. Entre os corpos-de-prova das tramas, a diferença foi de 33,5 MPa, o que representou aproximadamente 110 %, ou seja, foi necessário, mais do que o dobro de tensões, para o rompimento, após o tecido de juta ter sido transformado em armadura têxtil.

4.2.2 *Análise dos resultados dos ensaios do desenvolvimento da matriz cimentícia*

Neste item, são apresentados os resultados referentes aos ensaios utilizados nos procedimentos da composição da pasta, da determinação do esqueleto granular e da dosagem experimental, para a obtenção do traço no desenvolvimento da matriz cimentícia do compósito.

4.2.2.1 *Resultados dos ensaios do ponto de saturação do superplastificante*

Os dados computados durante os ensaios de cone de *Marsh*, para determinação do ponto de saturação do superplastificante, estão relacionados na Tabela 30, onde constam os tipos de pastas e respectivas (*a/c*), os teores utilizados e os tempos obtidos.

Tabela 30: Relação dos materiais componentes das pastas

TEORES de SP (%)	TIPO DE PASTA (tempo; seg)		
	Inferior <i>a/c</i> (0,32)	Intermed <i>a/c</i> (0,36)	Superior <i>a/c</i> (0,40)
0,5	Não fluiu	128	38
1	66	32	22
1,5	43	30	16
2	36	22	15
2,5	31	19	14
3	28	18	12
3,5	26	15	11
4	23	13	11
4,5	22	13	
5	22		

Fonte: Autor.

Conforme está realçado em amarelo na Tabela 30, os ensaios do ponto de saturação do superplastificante de cada tipo de pasta, foram paralisados, quando não houve mais diminuição significativa no seu tempo de escoamento. Na tabela também está indicado, especificamente na

relação água/cimento $a/c=0,32$, que a pasta não fluiu com o teor inicial de 0,5% de superplastificante. Esses dados, correspondem ao gráfico plotado da Figura 83.

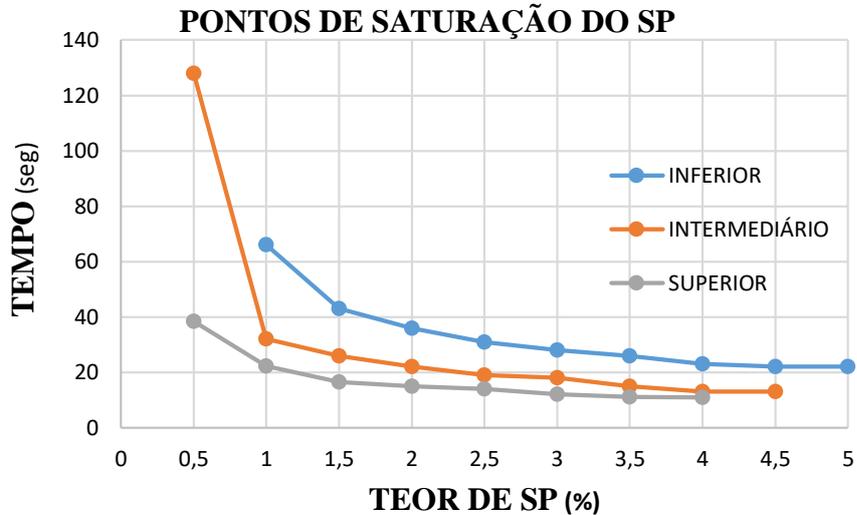


Figura 83: Gráfico do ponto de saturação do Superplastificante.
Fonte: Autor

Nas curvas do gráfico é possível identificar os pontos de saturação do superplastificante de cada tipo de pasta. Sendo que, o ponto de saturação na pasta do limite inferior, foi de 1,5 % no tempo de 43 segundos, na pasta do limite intermediário, o ponto de saturação foi de 1 % no tempo de 32 segundo, e na pasta do limite superior, o ponto de saturação foi de 1% no tempo de 22 segundos.

O resultado das verificações dos aspectos visuais das pastas, mostraram que todas, possuíam a propriedade de autoadensabilidade e apresentaram coesão com bordas altas, sem desagregações por exsudação. Na Figura 84, são demonstrados esses aspectos visuais.



Figura 84: ensaios de mini slump, espalhamento das pastas dos limites inferior, intermediária e superior
Fonte: Autor.

Na Tabela 31, são apresentados os resultados dos ensaios do ponto de saturação do superplastificante, os valores dos diâmetros máximos dos espalhamentos de cada tipo de pasta, correspondentes a média aritmética entre duas medidas tomadas perpendicularmente.

Tabela 31: pontos de saturação e diâmetros médios dos espalhamentos máximo.

MEDIDAS	TIPO DE PASTA		
	Inferior	Intermediária	Superior
Relação água/cimento (a/c)	0,32	0,36	0,40
Teor de superplastificante (%)	1,5	1	1
Tempo de escoamento no cone Marsh (seg)	43	32	22
Espalhamento máximo (mm)	194,8	195,1	195,6
Fluidez da pasta	4,87	4,88	4,89

Fonte: Autor

Os resultados demonstraram, que as pastas apresentaram quase que a mesma medida de espalhamento máximo, e de fluidez, divergindo apenas nos tempos de escoamento da pasta no cone de *Marsh*, onde também é demonstrado uma equivalência de 1% nos teores de superplastificante das pastas dos limite.

4.2.2.2 Resultados dos procedimentos de empacotamento

Na Tabela 32, estão relacionados os quantitativos de materiais empregados, as medidas de alturas e os pesos, tomados durante os procedimentos do MEC, para o empacotamento binário entre as partículas predominantes e de enchimento (D_p+D_e), e os resultados com os valores médios das aturas, volumes e massas unitárias, determinados por cálculos.

Tabela 32: informações extraídas dos procedimentos de empacotamento binário (D_p+D_e)

EMPAC %	PARTICULAS (g)				MEDIDAS TOMADAS (cm)					ALTURA MÉDIA h_{med} cm	VOLUME V cm ³	MASSA UNITÁRIA ρ_{ap} g/cm ³
	PRED (D_p)	ENCH (D_e)	MASSA inicial	PESAG. m_{ar}	1	2	3	4	MÉDIA pontos			
0	2500	0	2500	2500,0	9,55	9,60	9,70	9,55	9,60	7,90	1588,39	1,57
10	2500	250	2750	2748,6	9,25	9,30	9,30	9,25	9,28	8,23	1653,74	1,66
20	2500	500	3000	2997,2	8,60	8,70	8,60	8,60	8,63	8,88	1784,43	1,68
30	2500	750	3250	3245,9	8,30	8,40	8,25	8,35	8,33	9,18	1844,75	1,76
40	2500	1000	3500	3494,5	7,55	7,60	7,60	7,65	7,60	9,90	1990,52	1,76
50	2500	1250	3750	3729,4	6,95	7,00	7,00	7,00	6,99	10,51	2113,67	1,76

Fonte: Autor

Os destaques em amarelo, representam respectivamente a maior massa unitária (1,76 g/cm³) obtida, e a imediatamente anterior (1,68 g/cm³). No entanto, a mistura que corresponde a melhor proporção entre as partículas (D_p+D_e), está no intervalo entre essas duas massas unitárias. As informações referentes aos procedimentos para o refinamento do empacotamento binário, e para obter o melhor resultado, estão relacionadas na Tabela 33.

Tabela 33: informações extraídas dos procedimentos de refinamento do empacotamento binário (D_p+D_e)

EMPAC %	PARTICULAS (g)				MEDIDAS TOMADAS (cm)					ALTURA MÉDIA h_{med} cm	VOLUME V cm ³	MASSA UNITÁRIA ρ_{ap} g/cm ³
	PRED (D_p)	ENCH (D_e)	MASSA inicial	PESAG m_{ar}	1	2	3	4	MÉDIA pontos			
20	2500	500	3000	3000	8,30	8,35	8,30	8,30	8,31	9,19	1847,26	1,62
22	2500	550	3050	3048,1	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30	9,20	1849,77	1,65
24	2500	600	3100	3098,0	8,30	8,40	8,30	8,35	8,34	9,16	1842,23	1,68
26	2500	650	3150	3147,8	8,35	8,40	8,35	8,35	8,36	9,14	1837,21	1,71
28	2500	700	3200	3189,2	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	9,30	1869,88	1,71

Fonte: Autor

Conforme identificado em destaque amarelo na Tabela 33, o resultado da massa unitária, que proporcionou um melhor preenchimento dos vazios das partícula (D_p), com as partículas (D_e), foi a de 1,71 g/cm³ ou 1.713,36 kg/m³, correspondente a proporção de 26%. E as quantidades proporcional, obtidas entre as partículas ($D_p : D_e$), depois de deduzidas as perdas de processo, resultaram conforme demonstrado abaixo:

$$D_p = 2500 \text{ g} - 1,75 \text{ g de perda} = 2498,25 \text{ g de material predominante};$$

$$D_e = 650 \text{ g} - 0,455 \text{ g de perda} = 649,5 \text{ g de material de preenchimento}.$$

Na Tabela 34 a baixo, estão relacionados os quantitativos de materiais empregados, as medidas de alturas e os pesos, tomados durante os procedimentos do MEC, para o empacotamento ternário entre os agregados (D_p+D_e) já empacotados, com o cimento com sílica (D_f). Também constam os resultados dos valores médios de aturas, volumes e massas unitárias, determinados por cálculos.

Tabela 34: informações extraídas dos procedimentos do empacotamento ternário ($D_p+D_e+D_f$).

EMPAC %	PARTICULAS (g)				MEDIDAS TOMADAS (cm)					ALTURA MÉDIA h_{med} cm	VOLUME V cm ³	MASSA UNITÁRIA ρ_{ap} g/cm ³
	PRED (D_p)	ENCH (D_e)	MASSA inicial	PESAG m_{ar}	1	2	3	4	MÉDIA pontos			
26 = 0	2500,0	650,0	3150,0	3147,03	8,10	8,20	8,15	8,20	8,16	9,34	1877,42	1676,25
5	3150,0	157,5	3307,5	3304,94	8,00	8,10	8,10	8,10	8,08	9,43	1895,01	1744,02
10	3150,0	315,0	3465,0	3459,87	7,90	8,00	7,95	8,00	7,96	9,54	1917,63	1804,24
15	3150,0	472,5	3622,5	3614,81	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	9,90	1990,52	1816,01
20	3150,0	630,0	3780,0	3769,75	7,35	7,40	7,35	7,35	7,36	10,14	2038,27	1849,48
25	3150,0	758,5	3908,5	3896,16	7,10	7,10	7,00	7,05	7,06	10,44	2098,59	1856,56
30	3150,0	945,0	4095,0	4079,62	6,65	6,60	6,55	6,55	6,59	10,91	2194,09	1859,36
35	3150,0	1102,5	4252,5	4234,56	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	11,30	2272,01	1863,80
40	3150,0	1260,0	4410,0	4389,49	5,70	5,70	5,75	5,75	5,73	11,78	2367,51	1854,06
45	3150,0	1417,5	4567,5	-	Sem possibilidade de medição porque o material transbordou pra fora do recipiente							
50	-	-	-	-	Os ensaios foram paralisados							

Fonte: Autor

Conforme destacado em amarelo, a maior massa unitária obtida no empacotamento ternário das partículas (D_f), para o preenchimento dos vazios da mistura binária (D_p+D_e), foi de 1.863,80 kg/m³, correspondente a proporção de 35%. E a quantidade proporcional, obtida de partículas (D_f), depois de deduzida a perda de processo, resultou conforme demonstrado abaixo:

$$D_f = 1102,5 \text{ g} - 4,652 \text{ g de perda} = 1097,85 \text{ g de material fino (cimento+10\% de sílica);}$$

Portanto, conforme demonstrado nas Tabela 33, e Tabela 34, e depois das deduções, as quantidades de materiais, empregados na dosagem experimental da matriz cimentícia, foram:

- 2498,25 g de pó de brita na faixa granulométrica (D_p) de 425 – 250 μm ;
- 649,5 g de pó de brita na faixa granulométrica (D_e) de 180 – 106 μm ;
- 1097,85 g de pó de cimento com adição 10% de pó de sílica ativa, correspondentes a faixa granulométrica (D_f) de 75 – < 1 μm .

4.2.2.3 Resultados da otimização da dosagem experimental

Os procedimentos que determinaram o teor ideal da dosagem experimental, levaram em conta inicialmente, os resultados obtidos nos ensaios do ponto de saturação, na composição da pasta e do empacotamento MEC, que determinou o esqueleto granular.

Dos resultados obtidos nos ensaios do ponto de saturação, inicialmente foram mantidos os teores em relação aos respectivas pastas de referência, conforme relacionados abaixo:

- 1,5 % de superplastificante na pasta do limite inferior, com ($a/c = 0,32$);
- 1% de superplastificante na pasta do limite intermediário, com ($a/c = 0,36$);
- 1% de superplastificante na pasta do limite superior, com ($a/c = 0,40$).

Das proporções entre os materiais seco da matriz cimentícia, obtidas no empacotamento MEC, que correspondem a mistura ternária das partículas ($D_p:De:D_f$), como já foi visto, resultaram nas seguintes quantidades:

- 2498,2 g de pó de brita na faixa granulométrica predominante (D_p) de 425 – 250 μm ;
- 649,5 g de pó de brita na faixa granulométrica de enchimento (De) de 180 – 106 μm ;
- 1097,8 g de pó de cimento com adição 10% de pó de sílica ativa, correspondentes a faixa granulométrica (D_f) de 75 – < 1 μm , que representaram 998 g de cimento e 99,8 g de sílica.

Os volumes acima relacionados, corresponderam as seguintes proporções, em relação ao volume de cimento:

- 2,50 vezes de pó de brita predominante (D_p);
- 0,65 vezes de pó de brita de enchimento (De);
- 0,10 vezes de sílica ativa (s_a);

De acordo com o que foi exposto acima, foram adotados como ponto de partida, para os procedimentos da dosagem experimental, um traço experimental composto, pelo traço seco empacotado no MEC, a relação (a/c) e o teor de superplastificante (ts) da pasta do limite intermediário obtidos durante os procedimentos para a composição da pasta. A expressão apresentada a seguir, correspondem as proporções iniciais dos materiais utilizados nos ajustes da dosagem experimental:

- Traço experimental (traço seco + ts + a/c) = 1 : 0,1 : 0,65 : 2,5 : 0,01 : 0,36
(cimento : sílica : enchimento : predominante : superplastificante : água).

Devido a capacidade do misturador de bancada, os volumes de materiais iniciais, utilizados na dosagem experimental foram reduzidos, respeitando as proporcionalidades do traço experimental, conforme as quantidades abaixo:

- 500 g de cimento;
- 50 g de sílica ativa;

- 325 g de partículas de enchimento;
- 1250 g de partículas predominantes;
- 5 g de superplastificante;
- 180 g de água.

Durante os procedimentos da dosagem experimental, os ajustes efetuados, no traço experimental, proporcionaram acréscimos de massa nas proporções de cimento, sílica, superplastificante e de água, sem alterar as proporções entre as partículas predominantes (Dp) e as de enchimento (De), do esqueleto granular, conforme a seguir:

- na quantidade de cimento, que era de 500 g, foram acrescentadas 610 g, durante os ajustes, passou para 1110 g;
- na quantidade de sílica, que era de 50 g, foram acrescentadas 159,2 g, durante os ajustes, passou para 209,2 g;
- na quantidade de superplastificante, que era de 5 g, foram acrescentadas 28,3 g, durante os ajustes, passou para 33,3 g;
- na quantidade de água, que era de 180 g, foram acrescentadas 141,9 g, durante os ajustes, passou para 321,9 g.

As quantidades apresentadas acima pelo traço experimental, configuraram uma nova proporção entre os materiais. Essas proporções foram utilizadas nos traços de referência, com exceção da relação (a/c), que foram obtidas especificamente, em cada procedimento de dosagem experimental. Portanto, após os procedimentos, os traços de referência assumiram as seguintes configurações:

- Traço de referência do limite inferior = 1 : 0,19 : 0,29 : 1,13 : 0,03 : 0,26
- Traço de referência do limite intermediário = 1 : 0,19 : 0,29 : 1,13 : 0,03 : 0,32
- Traço de referência do limite superior = 1 : 0,19 : 0,29 : 1,13 : 0,03 : 0,38
(cimento : sílica : enchimento : predominante : superplastificante : água)

4.2.2.4 Resultados dos Ensaios no Estado Fresco.

Na sequência, são apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco, referentes aos procedimentos da dosagem experimental, dos 3 (três) tipos de traços referidos. A imagem (a) da Figura 85, mostra a baixa plasticidade, obtida pela argamassa do traço referência do

limite inferior, que durante o ensaio, apresentou uma consistência, que não ofereceu facilidades ao espalhamento, após os 30 golpes na mesa de *Graff*, resultando num abatimento residual e pouco espalhamento, conforme imagem (b).

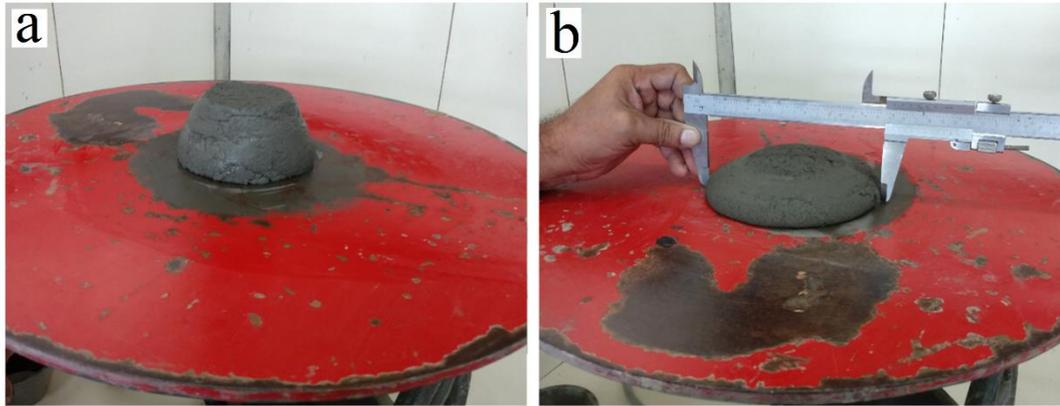


Figura 85: consistência do traço inferior, com baixa plasticidade (a) e pouco espalhamento (b).
Fonte: Autor.

Conforme a imagem (a) da Figura 86, a plasticidade da argamassa do traço do limite intermediário, demonstrou características de consistência plástica, quando ficou livre da forma tronco-cônica, e depois de deformada pela ação das tensões provocadas pela carga dos 30 golpes na mesa *Graff*, resultando num espalhamento com bordas altas e sem apresentar abatimento residual, conforme demonstrado na imagem (b) a baixo.

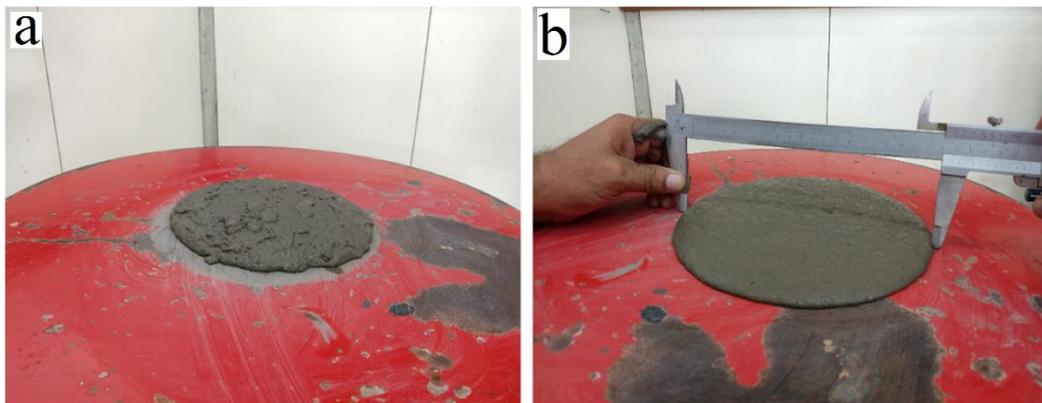


Figura 86: consistência plástica do traço intermediário (a) e espalhamento após os 30 golpes (b).
Fonte: Autor.

Na imagem (a) da Figura 87, mostra que, a argamassa do traço de referência do limite superior, quando retirada da forma tronco-cônica, apresentou uma plasticidade de consistência fluida, e espalhamento livre, somente sob a ação do peso próprio, com características de

autoadensabilidade. Nesse ensaio não foi necessário a aplicação dos 30 golpes na mesa *Graff*, conforme demonstrado na imagem (b) a seguir.

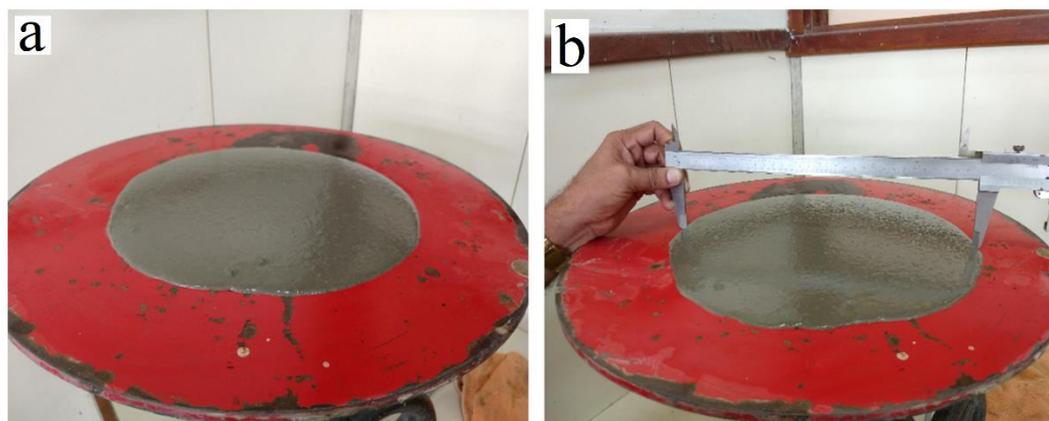


Figura 87: consistência fluida do traço superior (a) e espalhamento livre com autoadensabilidade (b).

Fonte: Autor

Devido as características apresentadas, o traço de referência do limite superior, foi adotado neste trabalho, como traço definitivo, portanto, foi empregado na produção das placas da forma colaborante. Os resultados dos índices de consistência e da fluidez das argamassas dos traços de referência, são apresentados na Tabela 35.

Tabela 35: resultados da dosagem experimental.

MEDIDAS	TIPO DE TRAÇO		
	Inferior	Intermediário	Superior
Cimento (g)	1110	1110	1110
Sílica ativa (g)	209,2	209,2	209,2
Partículas de enchimento (g)	325	325	325
Partículas dominantes (g)	1250	1250	1250
Teor de superplastificante (g)	33,3	33,3	33,3
Água de emassamento (g)	288,6	355,2	421,8
Índice de consistência espalhamento (mm)	154	256	318
Fluidez da argamassa	1,23	2,05	2,54

Fonte: Autor

Na Tabela 35, é verificado que os materiais que compuseram os 3 (três) traços de referência, possuíam os mesmos volumes, com exceção do volume de água, que sofreram ajustes, para que cada traço, alcançassem a consistência com a plasticidade desejada. Os resultados dos índices de consistência e da fluidez, demonstram que as argamassas desenvolvidas apresentam diferentes características com relação a trabalhabilidades e por isso, possuem flexibilidades para serem usadas de conformidade com a necessidade.

4.2.2.5 Resultados dos Ensaio no Estado Endurecido

O gráfico de tensão x deformação da Figura 88, mostra o comportamento de 10 (dez) corpos-de-prova, do traço do limite inferior.

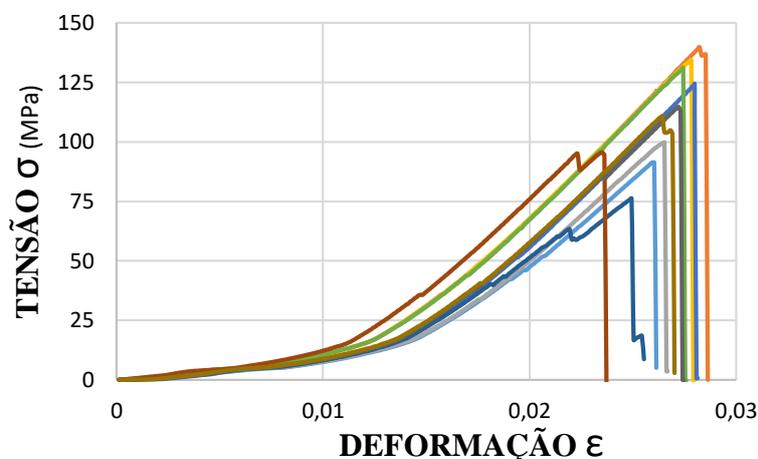


Figura 88: Gráfico Tensão x Deformação do Traço Inferior - relação a/c = 0,26.
Fonte: Autor

Com exceção dos resultados com maiores desvios, nota-se uma concentração das curvas entre as deformações 0,025 e 0,03 e entre as resistências 100 e 140 MPa. Esses resultados aliados a consistência semi-plástica, com a qual, a matriz foi feita, correspondem, segundo a classificado por Aïtcin (2000): classe III dos CADs.

A Tabela 36, apresenta os dados experimentais e os resultados, extraídos dos relatórios dos ensaios de compressão axial, correspondentes aos corpos-de-prova, que foram produzidos durante dosagem experimental, do traço inferior, de acordo com a norma NBR 7215 (1996).

Tabela 36: Dados e resultados, extraídos do relatório dos ensaios de compressão dos CPs do traço inferior

Traço	Corpo-de-Prova	Carga (kgf)	Deslocamento (mm)	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)
INFERIOR	CP 1/1	18.342,00	2,61	91,6	0,0261
	CP 1/2	28.019,00	2,86	139,9	0,0286
	CP 1/3	19.971,00	2,67	99,7	0,0267
	CP 1/4	26.900,00	2,8	134,3	0,028
	CP 1/5	24.934,00	2,81	124,5	0,0281
	CP 1/6	26.277,00	2,76	131,2	0,0276
	CP 1/7	15.258,00	2,55	76,2	0,0255
	CP 1/8	19.210,00	2,37	95,9	0,0237
	CP 1/9	22.999,00	2,75	114,8	0,0275
	CP 1/10	22.162,00	2,7	110,7	0,027
	Média			111,9	0,0269
	CV			8,9	7,7

Fonte: Autor

Conforme a Tabela 36, os corpos-de-prova do traço do limite inferior, apresentaram resistências entre 76,2 à 139,9 MPa e deformações entre 0,023 à 0,0286. As médias das tensões e das deformações, alcançaram respectivamente 111,9 MPa e 0,0269. Com os descartes dos valores com maiores desvios, a resistência a compressão ficou com a média de 125 MPa e a de deformação de 0,0278, levando a coeficientes de variação menores, em 2,3 e 1,3 respectivamente.

O gráfico de tensão x deformação da Figura 89, mostra o comportamento de 10 (dez) corpos-de-prova, do traço do limite intermediário.

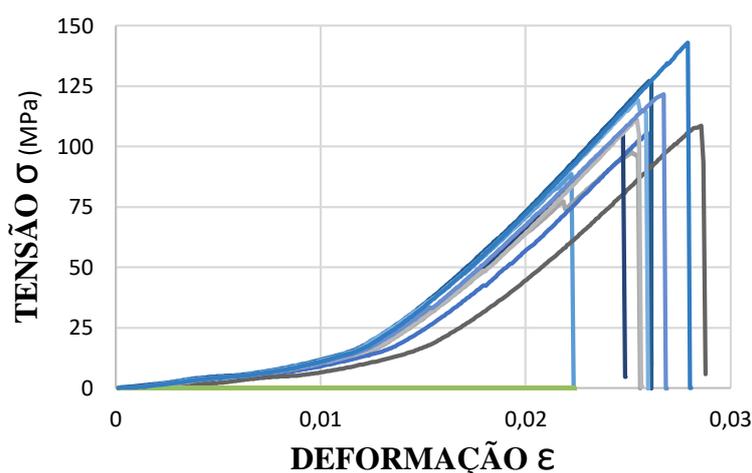


Figura 89: Gráfico Tensão x Deformação do Traço Intermediário – relação a/c = 0,32.
Fonte: Autor

As curvas apresentadas no gráfico da Figura 89, indicam comportamentos semelhantes as do traço do limite inferior. Observa-se no gráfico, uma concentração das curvas entre as deformações 0,025 e 0,03 e entre as resistências 100 e 150 MPa. Portanto, com os resultados obtidos e pelo fato, da matriz do traço do limite intermediário, ter sido produzida na consistência plástica, esse compósito pode ser classificado de acordo Aïtcin (2000) também, como CAD de classe III

A Tabela 37, apresenta os dados experimentais e os resultados, extraídos dos relatórios dos ensaios de compressão axial, correspondentes aos corpos-de-prova, que foram produzidos durante dosagem experimental do traço intermediário, de acordo com a norma NBR 7215 (1996). Os dados referentes as resistências, apresentaram uma acentuada variabilidade de 14,3, correspondente ao intervalo de 88,6 à 143 MPa, com a média de 113 MPa. Descartando-se os desvios mais acentuados, a média passou para 114 MPa e o CV ficou em 6,3. Com relação as deformações, apresentaram a média de 0,0261, e um baixo CV de 4,6.

Tabela 37: Dados e resultados, extraídos do relatório dos ensaios de compressão dos CPs do traço intermediário

Traço	Corpo-de-Prova	Carga (kgf)	Deslocamento (mm)	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)
INTERMEDIÁRIO	CP 2/1	17.736,00	2,24	88,6	0,0224
	CP 2/2	19.549,00	2,56	97,6	0,0256
	CP 2/3	21.172,00	2,61	105,7	0,0261
	CP 2/4	25.447,00	2,61	127,1	0,0261
	CP 2/5	21.768,00	2,88	108,7	0,0288
	CP 2/6	21.330,00	2,49	106,5	0,0249
	CP 2/7	23.987,00	2,6	119,8	0,026
	CP 2/8	22.304,00	2,57	111,4	0,0257
	CP 2/9	24.355,00	2,69	121,6	0,0269
	CP 2/10	28.629,00	2,81	143,0	0,0281
	Média			113,0	0,0261
	CV			14,3	4,6

Fonte: Autor

O gráfico de tensão x deformação da Figura 90, mostra o comportamento de 10 (dez) corpos-de-prova, do traço do limite superior.

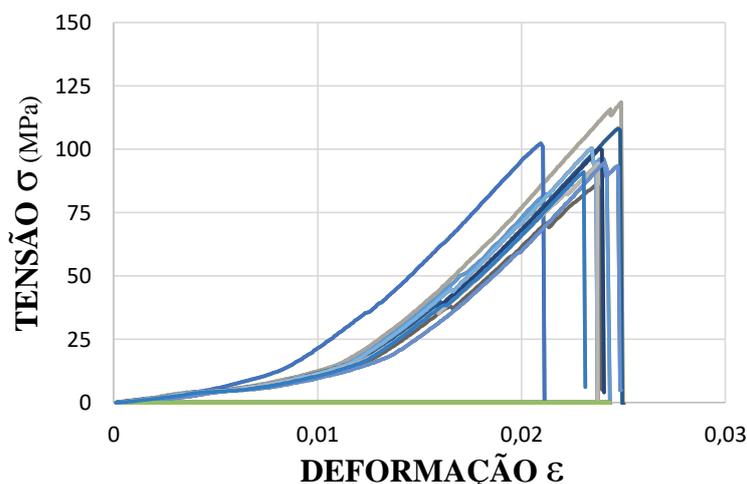


Figura 90: Gráfico Tensão x Deformação do Traço Superior – relação $a/c = 0,38$.

Fonte: Autor.

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 90, as curvas foram mais concentradas na marca de 0,25 do eixo da deformação, e em relação ao eixo de resistência, ficaram entre 80 e 120 MPa. Mostraram um comportamento, com maior regularidade em relação aos outros dois tipos de traços, devido ao efeito da relação a/c , que promoveu à argamassa da matriz a propriedade de autoadensabilidade, onde não houve a necessidade de adensamento. Segundo a classificação de Aïtcin (2000), o traço do limite superior, está enquadrado na classe II dos CADs.

A Tabela 38, apresenta os dados experimentais e os resultados, extraídos dos relatórios dos ensaios de compressão axial, correspondentes aos corpos-de-prova, que foram produzidos durante dosagem experimental do traço do limite superior, de acordo com a norma NBR 7215 (1996).

Tabela 38: Dados e resultados, extraídos do relatório dos ensaios de compressão dos CPs do traço superior

Traço	Corpo-de-Prova	Carga (kgf)	Deslocamento (mm)	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)
SUPERIOR	CP 3/1	19.426,00	2,43	97	0,0243
	CP 3/2	23.818,00	2,5	118,9	0,025
	CP 3/3	20.489,00	2,11	102,3	0,0211
	CP 3/4	21.693,00	2,5	108,3	0,025
	CP 3/5	17.209,00	2,39	85,9	0,0239
	CP 3/6	20.093,00	2,4	100,3	0,024
	CP 3/7	20.178,00	2,37	100,8	0,0237
	CP 3/8	18.931,00	2,37	94,5	0,0237
	CP 3/9	18.947,00	2,49	94,6	0,0249
	CP 3/10	18.241,00	2,31	91,1	0,0231
Média				99,37	0,0239
CV				2,0	3,8

Fonte: Autor

Os resultados dos ensaios dos corpos-de-prova do traço do limite superior, apresentaram baixa variabilidade entre as resistências e os CVs, sendo respectivamente 2,0 e 3,8. Com relação a resistência a compressão foi entre 94,5 à 118,9 MPa correspondendo a média de 99,37 MPa, e em relação a deformação foi entre 0,0211 a 0,025, correspondente média de 0,0239.

Conforme foi afirmado anteriormente, devido as propriedades adquiridas pelo traço de referência do limite superior, o mesmo foi adotado neste trabalho, como traço definitivo da matriz cimentícia, que foi utilizada na produção das placas nervuradas da forma colaborante.

4.2.3 Análise dos resultados dos ensaios do desenvolvimento da placa

Neste item, são apresentados os resultados referentes ao ensaio mecânico de tração na flexão, aos ensaios físicos de densidade aparente, absorção de água, índice de vazios, massas específicas e de microscopia óptica digital, utilizados nos procedimentos para o desenvolvimento da placa nervurada.

4.2.3.1 Resultados da tração na flexão em quatro pontos

A Tabela 39 apresenta os dados extraídos do relatório dos ensaios de tração na flexão, onde estão relacionados os valores correspondentes a carga e a deflexão máxima na ruptura dos corpos-de-prova e respectivas médias e coeficientes de variação.

Tabela 39: Relação das informações extraídas do relatório dos ensaios de tração na flexão.

Placa N°	Corpo-de-Prova	Reforço	Sentido	Carga Máxima C_{max} (N)	Deflexão Máxima Def_{max} (mm)
P1	CP1/1	S/reforço	Ref	264,00	1,347
	CP1/2	S/reforço	Ref	273,80	1,215
	CP1/3	S/reforço	Ref	330,40	1,225
				Média	289,40
				CV	12,39
P3	CP3/1	Tecido de juta	Urdumes	341,80	1,324
	CP3/2	Tecido de juta	Urdumes	334,80	1,115
	CP3/3	Tecido de juta	Urdumes	269,40	0,782
				Média	315,33
				CV	12,66
P4	CP4/1	Tecido de juta	Tramas	307,80	0,985
	CP4/2	Tecido de juta	Tramas	285,60	0,730
	CP4/3	Tecido de juta	Tramas	320,40	0,829
				Média	304,60
				CV	5,78
P5	CP5/1	Armadura têxtil	Urdumes	470,20	1,207
	CP5/2	Armadura têxtil	Urdumes	489,60	1,251
	CP5/3	Armadura têxtil	Urdumes	472,20	1,759
				Média	477,33
				CV	2,24
P6	CP6/1	Armadura têxtil	Tramas	356,60	1,182
	CP6/2	Armadura têxtil	Tramas	344,86	1,169
	CP6/3	Armadura têxtil	Tramas	357,82	1,249
				Média	353,09
				CV	2,03

Fonte: Autor.

Os resultados da tração na flexão, com relação, aos aspectos visuais dos corpos-de-prova, apresentaram comportamento típico de material com característica de fratura frágil, partindo de uma única fissura que se propagaram transversalmente e rompendo a matriz na região do seu terço médio conforme a imagem (b) da Figura 91. Com exceção dos ensaios dos corpos-de-prova de referência (matriz sem reforço), os ensaios dos demais (reforçados) foram paralisados quando as forças aplicadas, atingiram níveis muito abaixo, portanto não ocorrendo rompimento total do reforço conforme demonstrado na imagem (a) e mais adiante nos gráficos de tensão x deformação.

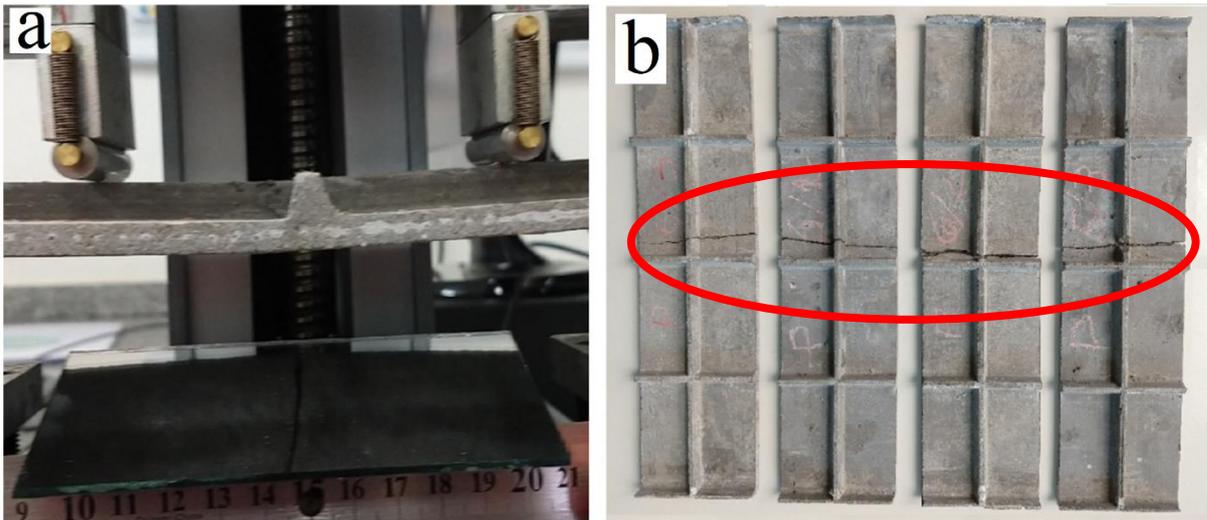


Figura 91: ruptura do corpo-de-prova (a); área de propagação da fissura e ruptura na região do terço médio (b).
 Fonte: Autor.

No gráfico da Figura 92, são apresentados os valores médios calculados para as tensões máximas na ruptura, dos corpos-de-prova ensaiados. Onde a cor cinza representa o corpos-de-prova de referência (matriz sem reforço), as beges referem-se ao compósito reforçado com o tecido de juta e em azul o compósito reforçado com a armadura têxtil.

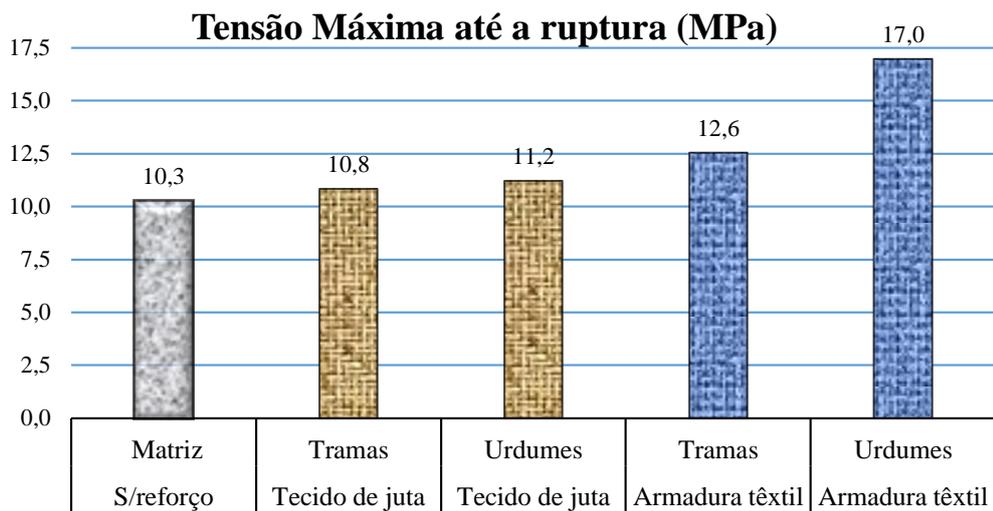


Figura 92: Tensões máximas média na ruptura à tração na flexão dos corpos-de-prova
 Fonte: Autor.

Conforme pode ser observado no gráfico, os corpos-de-prova produzidos apenas com a matriz cimentícia de referência, apresentaram uma resistência máxima média na ruptura à tração na flexão de 10,3 Mpa. Os corpos-de-prova produzidos com o compósito de matriz cimentícia reforçado com tecido de juta, apresentaram no sentido das tramas uma resistência de 10,8 MPa e no sentido dos urdumes uma resistência de 11,2 MPa. Os corpos-de-prova

produzidos com a matriz cimentícia e reforçado com armadura têxtil, apresentaram uma resistência de 12,6 MPa no sentido das tramas e de 17,0 MPa no sentido dos urdumes.

No gráfico observa-se que houveram aumentos na resistência a tração dos compósitos, em relação a matriz cimentícia de referência, devido a adição de reforços conforme seguir:

- Comparando o resultado da matriz cimentícia de referência, com os dos compósitos reforçados com tecido de juta, pode se observar leves acréscimos nas resistências médias das matrizes dos compósitos até seus rompimentos, sendo de 0,5 MPa no sentido das tramas e de 0,9 MPa no sentido dos urdumes, correspondendo a 4,85% e 8,74% respectivamente;
- comparando os resultados da matriz cimentícia de referência, com os dos compósitos reforçados com armadura têxtil, observa-se que ocorreram acréscimos bastantes expressivos nas resistências das matrizes do compósitos até seus rompimentos, sendo de 2,3 MPa no sentido das tramas e de 6,7 MPa no sentido dos urdumes, correspondendo a 23,33% e 65,05% respectivamente.

O gráfico da Figura 93, apresenta a comparação entre os resultados médios das deflexões máximas, que ocorreram nos corpos-de-prova, no momento da ruptura, durante os ensaios.

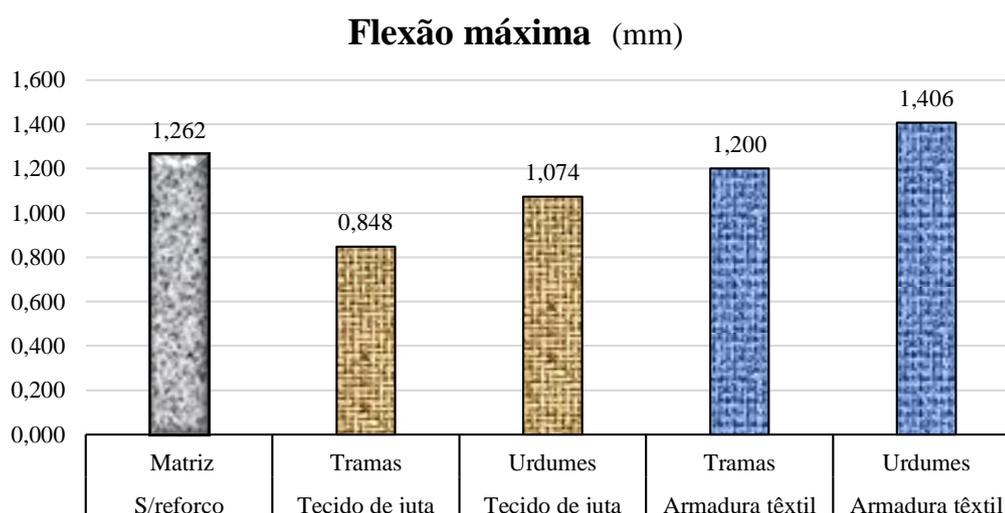


Figura 93: Médias das flexões máximas dos corpo-de-prova no instante de ruptura.

Fonte: Autor.

Na comparação da Figura 93, observa-se que, os dados do relatório indicaram que houveram reduções nos comprimentos das flechas dos corpos-de-prova dos compósitos reforçados com tecido de juta, em relação ao resultado médio da deflexão da matriz cimentícia de referência (sem reforço). Compreendendo uma redução de 32,8 % na flecha do compósito reforçado com tecido de juta, no sentido das tramas e de 14,9 % no sentido dos urdumes.

Com relação aos resultados médios de flexão dos compósitos reforçados com a armadura têxtil, o comprimento médio da flecha no sentido das tramas, foi equivalente ao da matriz cimentícia de referência, e no sentido dos urdumes foi ligeiramente superior em 11,4 %,

Os gráficos de tensão versus deformação ($\sigma \times \epsilon$), que estão apresentados na sequencia nas Figura 94, Figura 95, Figura 96 e Figura 97, mostram o comportamento mecânico dos corpos-de-prova, extraídos das placas P3 e P4, produzidas com o compósito e reforçado com tecido de juta, e dos corpos-de-prova extraídos das placas P5 e P6 produzidas com compósito reforçado com armadura têxtil os quais, estão particularizados e apresentados de acordo com os sentidos das tramas e dos urdumes. Nos quais também é demonstrado o comportamento médio dos corpos-de-prova extraídos da placa P1 correspondente a matriz cimentícia que serve de referência (REF) nas comparações.

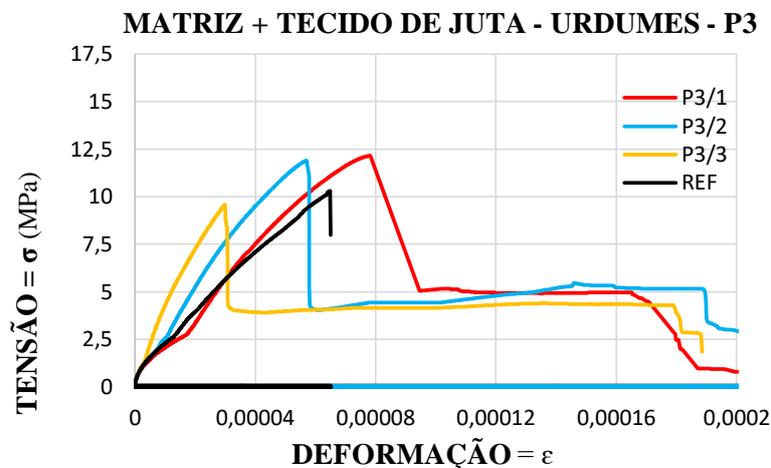


Figura 94: Gráfico de Tensão x Deformação – compósito reforçado com tecido de juta no sentido dos urdumes.
Fonte: Autor

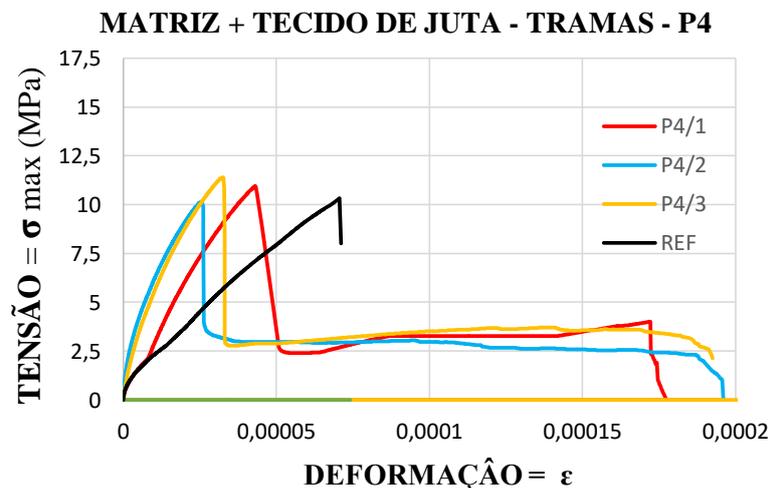


Figura 95: Gráfico de Tensão x Deformação – compósito reforçado com tecido de juta no sentido das tramas.
Fonte: Autor.

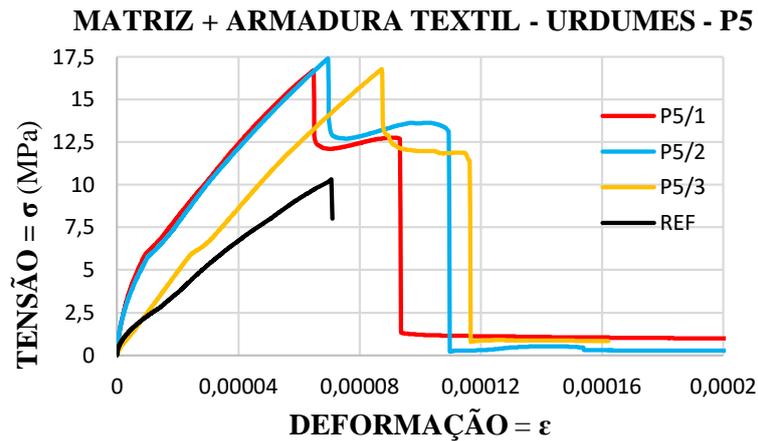


Figura 96: Gráfico de Tensão x Def. – compósito reforçado com armadura têxtil, no sentido dos urdumes.
Fonte: Autor.

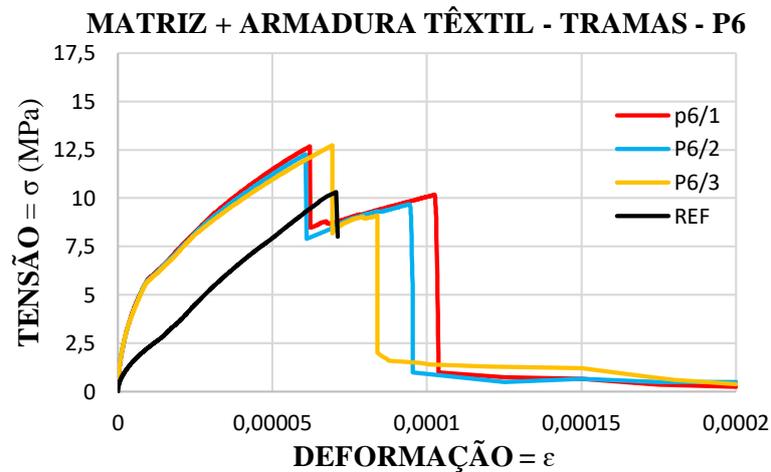


Figura 97: Gráfico de Tensão x Deformação – compósito reforçado com armadura têxtil, no sentido das tramas.
Fonte: Autor.

Nos gráficos das 4 (quatro) figuras acima, é possível observar o comportamento mecânico dos compósitos reforçados com armadura têxtil, mostrando os efeitos esperados por conta da impregnação do tecido de juta com resina epóxi.

As propriedades adquiridas pelos compósitos expressadas nos gráficos referidos, estão relacionadas na Tabela 40, a seguir.

Tabela 40: Valores médios das (σ_{max}), E_f , (ϵ_l), (U_{rf}) e (CV) referentes aos ensaios de tração na flexão.

Placa	Reforço	Sentido	Tensão máx		Módulo		Deformação		Resiliência		Tenacidade	
			σ_{max} MPa	CV (%)	E_f GPa	CV (%)	ϵ_l m	CV (%)	U_{rf} kJ/m ³	CV (%)	U_{tf} kJ/m ³	CV (%)
P 1	S/reforço	Ref	10,3	12,4	29,1	12,7	$7,10 \times 10^{-5}$	11,8	10,62	14,2	-	-
P 3	Tecido de juta	Urdumes	11,2	12,7	35,4	14,4	$5,34 \times 10^{-5}$	47,6	8,77	70,4	29,06	15,8
P 4	Tecido de juta	Tramas	10,8	5,8	42,7	12,1	$3,24 \times 10^{-5}$	30,3	3,92	40,5	20,83	14,3
P 5	Arm. têxtil	Urdumes	17,0	2,2	41,1	20,1	$7,39 \times 10^{-5}$	16,1	25,62	53,5	44,51	40,6
P 6	Arm. têxtil	Tramas	12,6	2,0	34,6	2,6	$6,41 \times 10^{-5}$	7,2	12,92	12,4	34,72	11,4

Fonte: Autor.

Como pode ser notado, tanto nos gráficos como na Tabela 40, houveram ganhos de resistência a esforços de tração e aumentos na rigidez nos módulos elásticos das matrizes dos compósitos reforçados, em comparação com a matriz cimentícia de referência, o que acarretou menos deformabilidade. Tal fato se deve ao aumento de compressão, devido a aplicação de força de pré-tração nos cordões do tecido de juta. Mostram também que após o fissuramento das matrizes, os reforços promoveram nova propriedade aos compósitos atribuindo-lhes tenacidade.

Fazendo comparação entre os compósitos reforçados com tecido de juta (P3 e P4) e os reforçados com armadura têxtil (P5 e P6), é possível verificar a magnitude dos ganhos, devido a impregnação de resina de epóxi no tecido de juta, por exemplo: na direção das tramas houve um aumento médio de 66,7 % no módulo de tenacidade e de 229,6 % no de resiliência; e na direção dos urdumes, o aumento foi de 53,2 % no módulo de tenacidade e de 192,1 % no módulo de resiliência.

4.2.3.2 *Resultados dos ensaios físicos da placa nervurada*

Neste item são apresentados as análises dos resultados dos ensaios físicos da placa nervurada, considerando os ensaios de densidade aparente, de absorção de água, de impermeabilidade e as análises da microscopia óptica digital, que estão descritos na sequência.

4.2.3.2.1 *Resultados da densidade, absorção, índice de vazios e massas específicas*

Na Tabela 41, estão relacionados as tomadas das medidas de pesagens, obtidas para as massas secas, saturadas e imersas, e os resultados dos cálculos da densidade aparente, da absorção de água, do índice de vazios e das massas específicas seca e saturada. Conforme pode ser observado, as médias das pesagens da massa seca, da massa saturada e da massa saturada imersa, são respectivamente 25,44, 26,35 e 14,94 g, apresentaram pouca variação nas medidas, o que garantiu maior confiabilidade. O valor de 2,544 g/cm³, que corresponde ao resultado médio obtido para a densidade aparente, representa a massa da substância da matriz, incluindo os vazios, os quais, foram incorporados na argamassa fresca, pela água de emassamento, que depois, ficaram aprisionadas nos seus interstícios.

Tabela 41: massas secas, saturadas e imersas e resultados das propriedades físicas

AMOSTRAS	MASSAS (g)			PROPRIEDADES FÍSICAS				
	m_{sec}	m_{sat}	m_{ime}	ρ (g/cm ³)	abs (%)	I_{vazios} (%)	μ_{sec} (g)	μ_{sat} (g)
AM 01	25,600	26,380	14,847	2,560	3,0	6,8	2,220	2,287
AM 02	25,898	26,770	15,213	2,590	3,4	7,5	2,241	2,316
AM 03	24,810	25,750	14,523	2,481	3,8	8,4	2,210	2,294
AM 04	25,343	26,300	14,970	2,534	3,8	8,4	2,237	2,321
AM 05	22,972	24,030	13,687	2,297	4,6	10,2	2,221	2,323
AM 06	24,667	25,560	14,493	2,467	3,6	8,1	2,229	2,310
AM 07	25,298	26,300	14,967	2,530	4,0	8,8	2,232	2,321
AM 08	25,584	26,630	15,117	2,558	4,1	9,1	2,222	2,313
AM 09	26,398	27,150	15,357	2,640	2,8	6,4	2,238	2,302
AM 10	27,452	28,280	16,053	2,745	3,0	6,8	2,245	2,313
AM 11	25,452	26,260	14,880	2,545	3,2	7,1	2,237	2,308
AM 12	25,803	26,790	15,160	2,580	3,8	8,5	2,219	2,304
MÉDIA	25,440	26,350	14,939	2,544	3,6	8,0	2,229	2,309
% CV	4,2	3,8	3,8	4,2	14,4	14,2	0,5	0,5

Fonte: autor

A percentagem média desses índices de vazios representam 8,0 % correspondente ao preenchimento dos interstícios, com água. E por intermédio de cálculos, foram determinados, pela relação percentual entre as médias da massa específica seca (μ_{sec}) e da massa específica saturada (μ_{sat}). O valor médio percentual de absorção de água, pela matriz cimentícia seca, foi de 3,6 %, correspondente a relação entre o índice médios de vazios (I_{vazios}) e os valores médios da massa específica seca (μ_{sec}).

4.2.3.2.2 Resultados dos ensaios de impermeabilidade

As imagens (a) e (b) da Figura 98, demonstram como foram obtidos os resultados subjetivos, dos ensaios de impermeabilidade da placa nervurada, de acordo com a norma NBR 5642 (1993). Nas verificações visuais, foi constatado que em nenhum corpo-de-prova, ocorreu vazamento e muito menos apareceram manchas de umidade.

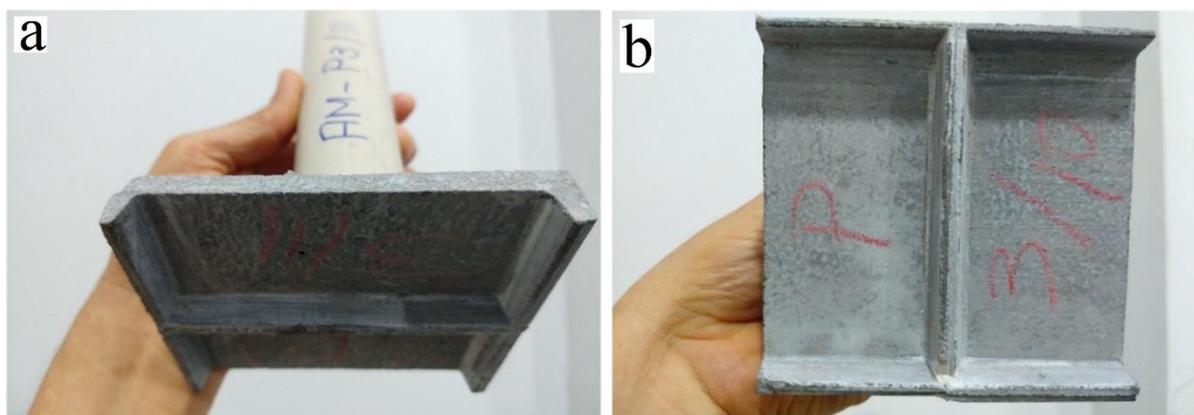


Figura 98: verificação no corpo-de-prova (a), quanto a manchas e vazamentos pela placa nervurada (b).
Fonte: autor.

Na Tabela 42, são apresentadas as pesagens tomadas das massas, dos corpos-de-prova secos (CP_{seco}), dos cheios (CP_{cheio}) e após 24 horas cheios (CP_{ch24}). Também são apresentados, os cálculos das massas de água inicial ($m_{inicial}$), final (m_{final}) e cedidas (m_{cedida}), para a determinação da impermeabilidade da placa nervurada da forma colaborante.

Tabela 42: Massas dos corpos-de-prova e cálculos das massas de água dos ensaios de impermeabilidade

N°	CORPO-DE-PROVA (g)			MASSA DE ÀGUA (g)		
	CP_{seco}	CP_{cheio}	CP_{ch24}	$m_{inicial}$	m_{final}	m_{cedida}
CP 01	223,264	420,650	418,962	197,386	195,698	1,688
CP 02	214,361	411,750	410,017	197,389	195,656	1,733
CP 03	227,536	425,257	423,448	197,721	195,912	1,809
CP 04	227,401	425,213	423,319	197,812	195,918	1,894
CP 05	231,697	429,434	427,489	197,737	195,792	1,945
CP 06	223,384	420,296	418,286	196,912	194,902	2,010
CP 07	244,297	442,340	440,627	198,043	196,330	1,713
CP 08	224,924	422,349	420,586	197,425	195,662	1,763
CP 09	244,657	442,981	441,209	198,324	196,552	1,772
CP 10	259,703	457,207	455,450	197,504	195,747	1,757
CP 11	262,101	458,915	457,091	196,814	194,990	1,824
CP 12	248,648	445,704	443,729	197,056	195,081	1,975
MÉDIA	235,998	433,508	431,684	197,510	195,687	1,824
PADRÃO	297,360	494,541	492,786	197,181	195,426	1,755
				RESÍDUO DE MASSA		0,069
				% RESIDUAL		0,035

Fonte: autor.

Conforme apresentado na Tabela 42, a média de massa de água cedida, após 24 horas, foi de 1,824 g e a massa de água cedida ao ambiente, pelo do corpo-de-prova padrão foi de 1,755 g. Após a dedução de água cedida ao ambiente pelo corpo-de-prova padrão, restou um

resíduo de massa de água de 0,069 gramas, correspondente a 0,035 %. Neste valor residual consta também a massa de água adsorvida, que não foi possível segregar durante os ensaios. Portanto, por intermédio desse resultado e dos aspectos visuais obtidos nos ensaios de impermeabilidade, recomendada pela norma NBR 5642 (1993), pode-se afirmar, dentro dessas premissas, que a placa nervurada da forma colaborante, é um material que possui a propriedade de impermeabilidade.

4.2.3.2.3 Análises de microscopia ótica digital

Os aspectos da microestrutura interna, do compósito da forma colaborante, são demonstrados nas imagens da Figura 99 e da Figura 100. As imagens microscópicas abaixo, referem-se ao compósito reforçado com tecido de juta.

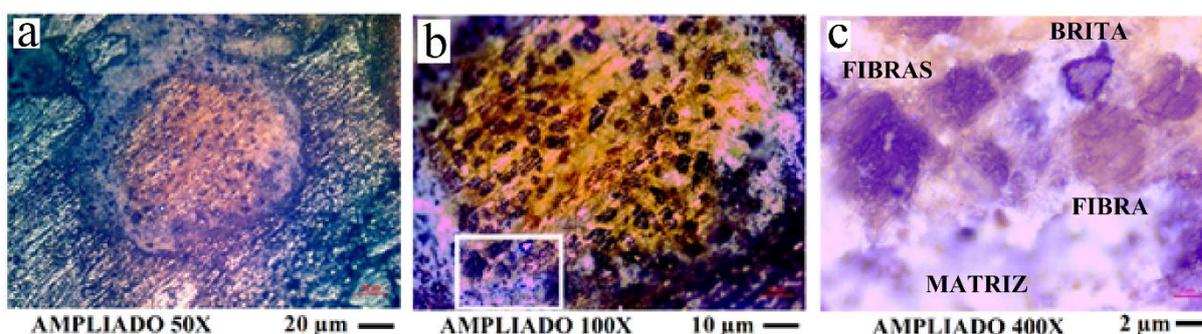


Figura 99: secção transversal do cordão (a); microestrutura do cordão (b); interação entre matriz e fibras (c).
Fonte: Autor.

Na primeira imagem (a) da Figura 99, ampliada 50 vezes, pode ser identificado, a secção transversal de um cordão do tecido de juta, utilizado como reforço da matriz cimentícia, o mesmo, se encontra envolvido por uma fina camada da argamassa, menor que 20 µm. Também, pode ser notado em torno do cordão, as partículas compactadas do pó de brita.

Na segunda imagem (b) da Figura 99, ampliada 100 vezes, pode ser identificado na cor marrom, as fibras do cordão de juta, envolvidas internamente pela goma (cor bege), utilizada na fabricação dos sacos de estopilhas, que se apresenta aparentemente expandida devido a mistura com a água de emassamento. O que, certamente reduziu a aderência entre o reforço e a matriz. Como também, criou condições para a mineralização das fibras, pelas reações do hidróxido de cálcio.

Esse fato, pode ser confirmado na imagem (c) da Figura 99, ampliada 400 vezes, que corresponde ao enquadramento de uma área da figura anterior, onde pode ser observado, a infiltração de argamassa da matriz, mostrando partículas de pó de brita no interior do cordão.

As micros imagens da Figura 100, demonstram os aspectos da internos da microestrutura do compósito reforçado com a armadura têxtil.

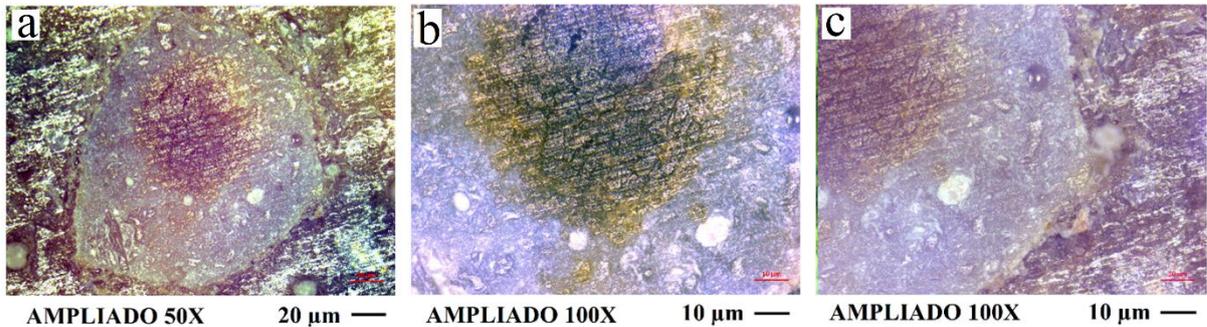


Figura 100: seção transversal (a); microestrutura do cordão revestido (b); interação entre epóxi e a matriz (c).
Fonte: Autor.

Na área central, da imagem (a) da Figura 100, ampliada 50 vezes, pode ser identificada, a secção transversal da armadura têxtil, formada pelo cordão do tecido de juta, revestido com resina de epóxi. Também pode ser observado, a forma compacta das partículas de pó brita no interior da argamassa cimentícia. As outras duas imagens da Figura 100, ampliadas 100 vezes, apresentam as interações de aderência, entre as fibras do cordão do tecido de juta e a resina epóxi (b), e entre a resina epóxi e a argamassa cimentícia (c).

Conforme pode ser entendido, a resina epóxi, além de revestir os cordões do tecido de juta, também promoveu a colagem das suas fibras externas, garantido a proteção necessária contra as reações deletérias do hidróxido cálcio, presentes no interior da argamassa.

5 CAPÍTULO - CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre os desenvolvimentos da armadura têxtil, da matriz cimentícia e da placa nervurada da forma colaborante e as recomendações para futuros trabalhos que podem ser desenvolvidos a partir dos componentes dos compósito.

5.1 CONCLUSÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ARMADURA TEXTIL

A armadura têxtil, que foi desenvolvida a partir de tecido de juta, adquiriu propriedades que permitiram sua utilização como reforço do compósito da forma colaborante cimentícia. Os procedimentos de impregnação com a resina epóxi, além de revestir, proporcionou também a colagem entre as fibras externas dos cordões do tecido com a resina epóxi. Os resultados dos ensaios mecânicos, dos corpos-de-prova da armadura têxtil demonstraram que, quando submetida à esforços de tração direta, ganhou maior capacidade de resistência e de rigidez, reduzindo inclusive o coeficiente de variação.

Entre as propriedades mecânicas adquiridas pela armadura têxtil, as tensões à tração direta, foram as mais relevantes. As médias das tensões máximas, foram de 63,7 e 70,8 Mpa, respectivamente nos sentidos das tramas e urdumes. Fazendo uma aproximação entre esses valores, mediante a dedução dos percentuais dos respectivos coeficientes de variação (CV), sendo de 10,7 e de 19 %, resulta em aproximadamente 57 MPa, ou seja, uma única resistência característica, comum para os dois lados da malha da armadura têxtil.

Buscando fazer uma equivalência, dessa resistência característica comum de 57 MPa, da armadura têxtil, em relação a tensão de escoamento de aço CA 60, utilizado em concreto armado usuais, a qual corresponde a 600 MPa. Seriam necessários, a soma de 10 (dez) resistências de corpos-de-prova da armadura têxtil, para igualar a resistência do aço CA 60.

5.2 CONCLUSÃO DO DESENVOLVIMENTO DA MATRIZ CIMENTICIA

Os experimentos e ensaios empregados, durante o desenvolvimento da matriz cimentícia do compósito, por efeito da utilização de superplastificante redutor de água e de sílica ativa, garantiram que no estado fresco, a argamassa, possuísse a propriedade de autoadensabilidade,

com trabalhabilidade na consistência necessária, que permitisse sua fluidez por entre os cordões e aberturas da malha da armadura têxtil, preenchendo completamente o molde da forma colaborante, sem que ocorressem falhas de preenchimento, segregações e ou exsudação.

No estado endurecido, corpos-de-prova cilíndrico moldados com o compósito, foram submetidos a compressão axial, alcançando a resistência máxima de 143 MPa superior ao de concreto de alta resistência, sendo qualificado como CAD, com alta densidade, resultado de um compacto esqueleto granular, obtido através de empacotamento compressivo de partículas com preenchimento gradual de vazios, usando pós de brita, cimento e sílica ativa, o que, também promoveu baixa permeabilidade.

5.3 CONCLUSÃO DO DESENVOLVIMENTO DA PLACA NERVURADA

As propriedades que o compósito adquiriu devido a associação da matriz cimentícia com a armadura têxtil, foi avaliada por intermédio de ensaios mecânicos de flexão, utilizando corpos-de-prova, extraídos de placas nervuradas produzidas com o compósito da forma colaborante. E também dos ensaios físicos que utilizaram testemunhos extraídos das partes não afetadas dos corpos-de-prova dos ensaios mecânicos.

Os resultados mecânicos foram promissores, caracterizando adesão entre os constituintes com elevado módulo de ruptura, de resiliência e de tenacidade e aumento de rigidez do módulo de elasticidade da matriz, o que, promoveu menor deformabilidade.

Os resultados dos ensaios físicos, mostraram que as placas possuem impermeabilidade, e baixa absorção de água e por intermédio da microscopia óptica, revelou que a microestrutura do material é muito densa, sem macros defeitos e mostra o cordão de juta da armadura têxtil, protegido pelo revestimento da resina de epóxi, aderido na matriz cimentícia.

Os fatos de maior relevância ocorridos nas placas nervuradas da forma colaborante, foram: o aumento da compressão na zona de tração das placas, devido a aplicação de força de pré-tração, nos cordões do tecido de juta, imprimindo as propriedades de concreto protendido; a significativa elevação dos valores das propriedades de resistência, resiliência e de tenacidade adquiridas pelo compósito das placas; os aspectos da microestrutura do compósito, mostrando a compacidade densa do esqueleto granular, a ausência da zona de transição das interfaces (ZTI), considerada o elo mais fraco na tecnologia do concreto estrutural.

5.4 SUGESTOES PARA FUTUROS TRABALHOS

Visando o aprimoramento desse trabalho, podem ser realizadas pesquisas voltadas para a matriz cimentícia, para a armadura têxtil, para o compósito e para a placa nervurada, conforme as sugestões relacionadas a seguir.

5.4.1 *Aprimoramento da matriz cimentícia*

O método que foi utilizado, para o desenvolvimento da matriz cimentícia deste trabalho, é voltado para as propriedades dos concretos de CAA, CAR e CAD, que utilizam agregados graúdos e miúdos em suas composições. Existe um hiato metodológico, onde a tecnologia do concreto atual, ainda não atua de forma sistemática, que é a micro e a nanotecnologia do concreto, ou seja, concretos micro e nano estruturados. Dentro desse contexto seguem as sugestões relativas:

- Promover pesquisa para a produção de micro partículas de agregados, selecionadas granulometricamente inferiores as separadas pela peneiras com abertura 75 μ m;
- Estudos para o refinamento do cimento na granulometria inferior a 45 μ m, tendo em vista, a verificação da consistência normal e do tempo de pega;
- Desenvolver pesquisas para moagem, separação granulométrica de nano partículas de agregados e de cimento;
- Desenvolver processos de empacotamento binário entre nano e micro partículas;
- Promover estudos experimentais para dosagem de concreto micro e nano estruturado, utilizando cimento refinado, micro e nanopartículas de pó de brita, metacaulim calcinado, micro e nano sílica.

5.4.2 *Aprimoramento da armadura têxtil*

O desenvolvimento da armadura têxtil deste trabalho, é incipiente, embora tenha alcançado excelentes resultados, com resistência apenas 10 vezes menores do que a de aço, ainda assim, carece de muitos estudos para o seu aprimoramento, principalmente porque as características do tecido de juta é para atender a produção de sacarias e não a de armaduras para o concreto armado. Entretanto, devido ao custo das fibras e ao cunho socioambiental, é

importante a continuidade do seu desenvolvimento. Portanto, dentro desse panorama, são sugeridos:

- A produção de armadura têxtil, a partir das fibras de juta impregnada com epóxi, empregando para tanto:
 - cordas trançadas com três cordões de juta, que são utilizados na tecelagem dos tecidos das sacarias, esse efeito, aumenta sua rigidez e diminui o coeficiente de variação;
 - utilizar o dispositivo de fixação deste trabalho, que permite tecer as malhas da armadura têxtil, e pré-tracionar as cordas, podendo inclusive, produzir com maiores aberturas, por exemplo 1 a 1,5 cm;
- produzir armaduras têxteis com malhas abertas no dispositivo de fixação deste trabalho, com cordas trançadas com dois e três tipos de corões misturadas, por exemplo, de fibra de juta, sisal, curauá, de fibra de vidro e de fibra de carbono, visando, obter maior resistência com ductilidade e aproximar os resultados das propriedades das armaduras de aço usuais do concreto armado.

5.4.3 Aprimoramento da placa nervurada cimentícia

A problemática para o uso de placas cimentícias na construção civil, é sempre o seu peso, por isso, as placas nervuradas da forma colaborante deste trabalho, foram concebidas com alívios de massa e enrijecimento com nervuras, para que tornassem um material leve e de fácil manuseio. A placa nervurada deste trabalho pesa 3,1 kg, o que corresponde a 30,1 kg para um painel de 0,40 x 4,00m, equivalente ao limite máximo, estabelecido pelo ministério do trabalho, para um operário suportar (30 kg).

Podem ser feitos vários ajustes nas placas com o aumento da altura das nervuras, para aumentar a inércia estática da geometria da secção. Dessa forma, pode-se também aumentar o espaçamento entre nervuras e modificar a espessura da mesa das placas nervuradas. Nesse contexto os painéis da forma colaborante, também podem ser produzidos com materiais mais leves, como as argamassas geopoliméricas.

REFERENCIA

- ABREU, Ligyane D E; BARRETO, E. Sistema de fôrmas plásticas para lajes de concreto. *Revista IBRACON - Anais do 54 Congresso brasileiro do concreto*, p. 82–88, 2012.
- AÏTCIN, Pierre Claude. Binders for Durable and Sustainable concrete. 2000.
- ALBINANTE, Sandra Regina *et al.* Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. v. 36, n. 1, p. 114–122, 2013.
- ALENCAR, Ricardo dos Santos Arnaldo De. Dosagem do Concreto Auto-Adensável: Produção de pré-fabricados. *Dissertação*, p. 176, 2008.
- ARCELOR MITTAL, PERFILOR. *catalogo tecnico polydeck 59s 12 edicao*. São Paulo SP. 2013.
- ASSAHI, Paulo Nobuyoshi. Sistema de fôrma para estrutura de concreto. 2007.
- ASTM D6910-04, América stand. *Método de Teste Padrão para Viscosidade Marsh of Clay Construção Lodos*, ASTM International. . West Conshohocken, PA. 2004.
- AUTODESK. *Software Auto CAD. Architecture, engineering e Construction collection. versão gratuita de avaliação do software Autodesk de projeto 3D*. 2016.
- BARROS, Alexandre Rodrigues de. *Vigas de concreto auto-adensável vigas de concreto auto-adensável*. 2009. 178 f. Universidade Federal de Alagoas, 2009.
- BRASILEIRO, Francisca Lilian Cruz; MONTEIRO, Livia Maria de souza; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. Study Content of Superplasticizer Self-Compacting Mortar With Addition of Rhyolite. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC' 2015 . Centro de Eventos do Ceará - Fortaleza - CE*, p. 4, 2015.
- BROWN, Bev. Aggregates for concrete. *Concrete (London)*, v. 32, n. 5, p. 12–14, 1998.
- BRUKER. diffractometer X-ray (XRD) Bruker AXS, D2 Phaser. Karlsruhe, Germany). *Technical Specification*, p. 12, 2017.
- CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução*. oitava ed. 2012.
- CEMEX, Fabrica de cimento. (49) *CEMEX - Publicações*. Manaus: <https://www.facebook.com/CEMEXAMAZONAS/posts/1466525790242375>. , 2018
- CUSTÓDIO, Mayara. Materiais de construção II. a Estrutura interna do concreto. 2015.
- DE LARRARD, F D E; STOVALL, T; BUIL, M. Linear Packing Density Model of Grain Mixtures. v. 48, p. 1–12, 1986.

DE LARRARD, François. Concrete optimisation with regard to packing density and rheology François de Larrard To cite this version : HAL Id : hal-00595686. *3rd RILEM - international symposium on rheology of cement suspensions such as fresh concrete, Aug 2009, France. 8p. hal-00595686*, p. 11, 2011.

DI MAURO, Fabio João Paulo. Madeira na construção civil: da ilegalidade à certificação. 2013.

EBAM, Amazônia Mucajaí Mineração Ltda. *Extração e Britamento de Pedras e Outros Materiais para Construção e Beneficiamento Associado.*: <http://www.econodata.com.br/lista-empresas/Amazonas/Presidente-Figueiredo/A/07243002000150-Amazonia-Mucajai-Mineracao-LTDA.> , 2018

FARIAS, Antonio. Considerações sobre aspectos normativos da NBR 6118:2014. Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG Curso de Engenharia Civil. 2014.

FERREIRA, Osny Pellegrino. *Portland modificada com látex e adição de sílica ativa Antônio de Paulo Peruzzi.* 2002. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2002.

FIDELIS, Maria Ernestina Alves. *Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta.* 2014. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

FIDELIS, Maria Ernestina Alves *et al.* The effect of accelerated aging on the interface of jute textile reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 74, p. 7–15, nov. 2016.

FIGUEIREDO, A. D. *Antônio Domingues de Figueiredo.* 2000. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Civil, Departamento de Engenharia de Construção, 2000.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues De; MONTE, Renata. Avaliação de métodos de ensaio de fluidez em pastas de cimento com aditivos superplastificantes. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil*, 2008.

FRANÇA, Alessandra Aparecida Vieira. *Estudo das lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido submetidas a ensaios de cisalhamento.* 2012. Universidade Federal do Paraná, 2012.

FREDEL, Ing. Marcio C.; ORTEGA, Patricia; BASTOS, Edson. *Propriedades Mecânicas: Ensaios Fundamentais.* volume 1 ed. [S.l.]: file:///C:/Users/louis/Downloads/apostila-do-laboratorio-de-propriedades-MEC-160315%20(1).pdf, 2015.

FREITAS JR., José de A. Materiais de Construção A Estrutura do Concreto Estrutura Heterogênea Complexa Composição depende de Inúmeros Fatores Agregados Pasta Agregados Pasta Vazios + Água Zona de Transição Concreto Macro Estrutura Micro Estrutura. 2013.

FREITAS JR, Jose de almendra. *Materiais de Construção II (TC-031) . Dosagem de concreto.* UFPR - Universidade Federal do Paraná. Paraná PR: [s.n.]. Disponível em: <freitasjose@terra.com.br>. 2014

GONÇALVES, Paulo José Simões. *Emprego de EPS reciclado na produção de blocos vazados de concreto*. 2017. 145 f. Universidade Federal do Amazonas, 2017.

HANNICKEL, Adriana *et al.* IMAGE J como ferramenta para medida da. p. 16–26, 2012.

HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, Paulo. *Livro- Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. São Paulo SP: Editora Pini. , 1992

JÚNIOR, Tarley Ferreira de Souza. *Estruturas De Concreto Armado - Notas de aulas - Universidade de Lavras*. 2014.

JUTAL, Empresa Industrial de Juta S/A – JUTAL. *Beneficiamento de produtos do setor primário*. . Manaus Am. 2018.

KAEFER, Luís Fernando. *A Evolução do Concreto Armado*. 1998.

KOMAR, Kateryna Eryna. *Estudo do comportamento da resina epóxi de colagem de aduelas pré-fabricadas de pontes*. 2015. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015. Disponível em: <<http://arci53.blogspot.com.br/2009/02/utilizacoes-de-resinas-epoxi-e-outras.html>>.

KONKREX, Engenharia de Concreto - Manaus - Amazonas. *Konkrex Engenharia de Concreto. Usina: Avenida do Turismo, 10.304 Tarumã . CEP 69037-005. Escritório: Rua Dez de Julho, 399 Centro . CEP 69010-060 - Manaus - Amazonas*. . Manaus Am: <http://www.konkrex.com.br/faleconosco.php>. , 2018

KULAS, C; GMBH, Solidian. *Actual applications and potential of textile-reinforced concrete. GRCA Dubai congress, 2015*, p. 1–11, 2015.

LIMA, Paulo Roberto Lopes. *Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal*. 2004.

MAGALHÃES, Aldo Giuntini De. *Caracterização e análise macro e microestrutural de concretos fabricados com cimentos contendo escórias de alto-forno* . 2007. Universidade Federal de Minas gerais, 2007.

MAMEDE, Artur. *Produção de malva e juta no Amazonas pode desaparecer - Portal Amazônia. Jornal do Commercio*, 2014.

MANAUS AMBIENTAL, Prestadora dos serviços de saneamento em caráter exclusivo no Município de Manaus em razão de Contrato de Concessão. *Manual de Prestação de Serviços e Atendimento ao Consumidor - MPSAC Se a gente*. 2018

MANOHAR, Akshay R. *Marsh cone test. NMAMIT-NITTE*, p. 14, 2014.

MASSADUR, Adesivo Estrutural Epóxi. *Ancoragem química epóxi da resina tropical de 400ml _ Fabricante de âncora química*. . Diadema - SP: <https://www.diadepoxi.com.br/adesivo-estrutural-epoxi-massadur>. , 2018

MC-BAUCHEMIE, Brasil. *MC-PowerFlow 1160 Superplastificante de alto desempenho baseado na nova tecnologia de polímeros MC*. . São Paulo SP: www.mc-bauchemie.com.br , 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *CONCRETO: Estrutura, Propriedades e Materiais*. 1994

MELO FILHO, João de Almeida. *Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal*. 2005. 124 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005.

MELO FILHO, João de Almeida. *Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal*. 2012.

MENDES, T. M.; REPETTE, W. L.; REIS, P. J. Effects of nano-silica on mechanical performance and microstructure of ultra-high performance concrete. *Cerâmica*, v. 63, n. 367, p. 387–394, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>.

METFORM. *Catalogo Técnico*. . Distrito Industrial do Vale do Piracangagua - Taubaté - SP. 2017.

METHA, P. KUMAS; MONTEIRO, PAULO J. M. *CONCRETO-Microestrutura-Propriedades e Materiais - Paulo Monteiro.pdf*. 2008.

MURTHY, N. Krishna *et al*. Self compacting mortars of binary and ternary cementitious blending with metakaolin and fly ash. *International journal of civil engineering*, v. 3, n. 2, p. 369–372, 2014.

NBR16606, ABNT. *NBR NM 43/03 - Cimento Portland: Determinação da pasta de consistência normal*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/sheyqueiroz/nbr-nm-4303-cimento-portland-determinao-da-pasta-de-consistncia-normal>>. , 2017

NBR 11173, ABNT. *Projeto e execução de argamassa armada*. . Rio de Janeiro RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 1990

NBR 11579, ABNT. MB-3432 Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (n ° 200). *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 3, 2012.

NBR 13276, ABNT. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. *Norma técnica*, p. 2–4, 2002.

NBR 14727, ABNT. *Materiais têxteis — Determinação da resistência à tração e alongamento de tecidos planos (grab test) em dinamômetro tipo CRT*. . Rio de Janeiro - RJ:

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016

NBR 15498, ABNT. *Placas de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio.pdf*. . Rio de Janeiro RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016

NBR 15823-1, ABNT. Concreto autoadensável Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 14, 2016.

NBR 15900-1, ABNT. Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 1–8, 2009.

NBR 16372, ABNT. *Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2015

NBR 16421, ABNT. *Telha-forma Colaborante para laje mista de aço e de concreto - Requisitos e ensaios*. 2015.

NBR 5642, ABNT. *Chapa Estrutural de Fibrocimento – Determinação da Impermeabilidade – Prescreve o método de determinação da impermeabilidade em telhas onduladas e chapas estruturais de fibrocimento*. . Rio de Janeiro - RJ. 1993.

NBR 5732, ABNT. NBR 5732 - Cimento Portland comum. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, p. 5, 1991.

NBR 5738, ABNT. *Modelagem-e-Cura-de-Corpos-de-Prova*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2015

NBR 5739, ABNT. Ensaio de compressão cp cilíndrico.pdf. *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 13, 2007.

NBR 5752, ABNT. *Cimento Portland - Índice de atividade pozolânica*. 2014.

NBR 6118, ABNT. *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Packag. Bost. Mass. .2014

NBR 7211, ABNT. *Agregado para concreto*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2009

NBR 7215, ABNT. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, p. 1–8, 1996.

NBR 7480, ABNT. *Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação*. 2008

NBR 7481, ABNT. Tela de aço soldada - Armadura para concreto. *norma tecnica*, p. 7, 1990.

NBR 8522, ABNT. Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 16, 2008.

NBR 8953, ABNT. Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 2–3, 2015.

NBR 9778, ABNT. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, p. 4, 2005.

NBR NM 11-2, ABNT. *Cimento Portland - Análise química - Determinação de óxidos principais por complexometria - Parte 2: Método ABNT*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2012

NBR NM 15, ABNT. *Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2012

NBR NM 16, ABNT. *Cimento Portland - Análise química - Determinação de trióxido de enxofre*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2012

NBR NM 18, ABNT. Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo. *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 3, 2012.

NBR NM 20, ABNT. *Cimento Portland e suas matérias-primas - Determinação do dióxido de carbono por gasometria*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2012

NBR NM 248, ABNT. Agregados - Determinação da composição granulométrica. *ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro*, p. 6, 2003.

NBR NM 45, ABNT. *Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. . Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2006

NBR NM 46, ABNT. *Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem*. *Abnt Nbr Nm 46:2003*. Rio de Janeiro RJ: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. , 2006

NBR NM 68, ABNT. *Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff*. . Rio de Janeiro - RJ: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=3006>. , 1998

NOBRE, Maria dos Santos Martins. *Materiais de Construção I - Aglomerantes*. *DOCPLAYER*, p. 64, 2018.

NUNES, Rodrigo Lourenção; ISA, Mario Morio. *Concreto Autoadensável De Alto Desempenho : Determinação Da Composição Da Pasta*. p. 8, 2007.

O REILLY, Vitervo Díaz. *Método de Dosagem de Concreto de Elevado Desempenho*. . São Paulo SP: Editora Pini. , 1998

OLIVEIRA, Igor Roberto Cabral. *Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva*. 2013. Universidade Federal Do Amazonas, 2013.

OLIVEIRA, Mesaque Silva De. *Desenvolvimento e caracterização de telhas cimentícias reforçadas com tecido de fibras vegetais da Amazônia*. 2017. 118 f. Universidade Federal do Amazonas, 2017.

PAIVA, Alciane Matos de Paiva. Agricultura camponesa: no contexto da produção de juta e malva na várzea do estado do Amazonas. 2015.

PAIVA A. M. Agricultura camponesa e desenvolvimento rural/local : Um estudo da organização da produção de juta e malva na várzea do município de Manacapuru. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, v. 1, 2015.

PAPINI, Claudemir José. *Estudo comparativo de métodos de determinação do tamanho de partículas*. 2003. Autarquia Associada a USP, 2003.

PICANÇO, Marcelo De Souza; GHAVAMI, Khosrow. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 61, n. 1, p. 13–18, 2008.

PIOVEZAM, Igor André Rodrigues; MELEIRO, Leandro Parras; ISA, Mario Morio. Resistência à compressão do concreto autoadensável : influência da atividade pozolânica do calcário e do basalto. v. d, p. 95–100, 2006.

PIRES, Eduardo N *et al.* Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. p. 10, 2009.

POLIPOX, Tecnologia em Epóxi e Polímeros. *Adesivo Epóxi Estrutural Pastoso*. . Cesário Lange - SP: <https://www.polipox.com.br/loja/adesivo-epoxi-estrutural/>. , 2018

PORTELA, Gleicyanne. *Compósito Geopolimérico Reforçado com Tecido de Juta*. 2016. Universidade Federal do Amazonas Faculdade de Tecnologia, 2016.

REIS, Luiz *et al.* Análise e caracterização da degradação de compósitos reforçados com fibra de juta e fibra de vidro em ambiente controlado. p. 27–36, 2012.

RICHARD, Pierre *et al.* Composition of Reactive Powder Concretes. Scientific Division Bouygues, 78061 St Quentin en Yvelines, France. v. 25, n. 7, p. 1501–1511, 1995.

ROMBALDO, Carla F.S. *et al.* Brazilian natural fiber (jute) as raw material for activated carbon production. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 86, n. 4, p. 2137–2144, 2014.

ROSSI, Danilo Alberto Zorzal; BRITO, Frederico Cunha; SPERANDIO, Leonardo salomão. *Recuperação estrutural : estudo de caso de um edifício residencial*. . Vitória ES: Federal, Universidade Espírito, D O Tecnológico, Centro. , 2010

SCHEERER, Silke; SCHLADITZ, Frank; CURBACH, Manfred. Textile Reinforced Concrete – From the idea to a high performance material. *11th International Symposium on Ferrocimento end Textile Reinforced Concrete 3rd ICTRC*, p. 15–34, 2015.

SEGAL, L. *et al.* An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. *Textile Research Journal*, v. 29, n. 10, p. 786–794, 1959.

SELKE. *Britas - Produtos _ Vale do Selke Sistemas Construtivos*. . [S.l.]: <http://www.valedoselke.com.br/produtos/britas>. 2017.

SEPROR. *Cultura Industriais _ SEPROR - Secretaria de Produção Rural do Amazonas*. . Manaus AM. 2016.

SIEG, Ana Paula Antonello. *Estudo de um sistema de laje com fôrma de aço incorporada*. 2015. Universidade de São Paulo - escola de Engenharia de São Carlos, 2015.

SIKA, Portugal S.A. Sikadur ® -31 Cola de epoxi estrutural tixotrópica em dois componentes. p. 2–5, 2014.

SILVA, Aluizio Caldas e. Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose. *Dissertação de mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, p. 1–115, 2002.

SOARES, Dora. *Estudo e caracterização de agregados para betão . Avaliação da sua contribuição para o aumento da alcalinidade e no desenvolvimento da reação álcalis-sílica no betão* . 2014. 217 f. Universidade de Évola - Escola de Ciências e Tecnologia, 2014.

TECNOSIL, Ind. e Com. de Artefatos de Silicone Ltda. *Sílica ativa. Catálogo Técnico e comercial*. Itupeva SP: www.tecnosilbr.com.br. , 2018

THOMAZ, E C S; COSTA, Susana L S; ROCHA, Claudia A. Concretos com Microsílica – Ensaio UERJ. 2008.

THOMAZ, Eduardo C S. *Zona de Transição na Interface . Notas de aula Zona de Transição na Interface – Agregado X Pasta de cimento Zona de Transição na Interface . Notas de aula Zona de Transição na Interface – Agregado X Pasta de cimento*. 2001

THOMAZ, Ercio. Racionalização e Industrialização da construção serão predominantes no futuro . *APeMec - Associação de Pequenas e Médias Empresas de Construção Civil do Estado de São Paulo*, p. 10–11, 2012.

TOLEDO FILHO, Romildo Dias; JOSEPH, Kuruvilla; GHAVAMI, KHOSROW & ENGLAND, George Leslie. The use of sisal fibre as reinforcement in cement based composites. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 3, n. 2, p. 245–256, 1999. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v3n2/245.pdf>>.

TORALLES-CARBONARI, M. Berenice *et al*. *Consumo de pasta em diferentes esqueletos granulares para concreto de alto desempenho*. . Londrina PR: IV Encontro tecnologico da engenharia civil e arquitetura. , 2003

TRAGARDH, J. Microstructural features and related properties of self-compacting concrete. *1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete*, v. 7, n. June, p. 175–186, 1999.

TUTIKIAN, Bernardo F. *et al*. Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. Método de O'Reilly. *IBRACON*, p. 44, 2011.

TUTIKIAN, Bernardo F; ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo. Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho. n. 1990, 2011.

VEDACIT, Otto Baumgart. *Compound Adesivo Estrutural de Base Epóxi*. . São Paulo SP. 2018.

WEBER, Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção. *tecbond TIX quartzolit - adesivo estrutural à base de resina epoxi de alta viscosidade*. . Jandira SP: www.weber.com.br. , 2018

WONG, H.S. *et al.* Influence of the interfacial transition zone and microcracking on the diffusivity, permeability and sorptivity of cement-based materials after drying. *Magazine of Concrete Research*, v. 61, n. 8, p. 571–589, 2009. Disponível em: <<http://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/macr.2008.61.8.571>>.

WU, Hwai Chung; MINDESS, S. *Advanced Civil Infrastructure Materials*. [S.l: s.n.], 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978185573943750001X>>.

ANEXOS

ANEXO A – informações dos ensaios de Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

Conjunto de condições do sistema

Nome da Condição	kV	uA	Filtro nome	Meio	Detector mode
<F-S>	5,000	60	<none>	Hélio	High resolution
<Cl-V>	12,000	25	Al-50	Ar	Normal
<Cr-Co>	20,000	15	Al-200	Ar	Normal
<Ni-Zr>	50,000	6	Ag	Ar	Normal
<Nb-Sb>	50,000	6	Cu-300	Ar	Normal
<default>	10,000	100	<none>	Ar	Normal

Parâmetros do Sistema

Nome da fonte da impressora	Tahoma
Tamanho da fonte da impressora	10 ponto

Unidade	Fator
%	1,0000000000
None	1,0000000000
ppm	10000,000000
cps	1,0000000000

Transmissão de resultados	Desabilitado
---------------------------	--------------

Elemento do anodo do tubo de raios-X	Rh
Espessura da janela do tubo de raios-X	50 um
Máxima potência do tubo de raios-X	15000 mW
Máxima voltagem do tubo de raios-X	50,000 kV
Máxima corrente do tubo de raios-X	3000 uA

Filtro	Nome	Composto	Espessura um	Dens g/cm3
1	Cu-500	Cu	500	8,96
2	Ti	Ti	7	4,54
3	Al-50	Al	50	2,70
4	Al-200	Al	200	2,70
5	Cu-300	Cu	300	8,96
6	Ag	Ag	100	10,50
7	<none>			

Sistema de Hélio disponível	Sim
Vacuum system available	Não

ANEXO A1 – FRX do cimento

Sample results

Sample ident
FRX cimento

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	2
Measurement time	12-jan-2018 11:14:19

Normalisation factor	1,292
Minimum He Flow (l/min)	0,82

Compound	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	Ti	V	Cr	Mn	Fe2O3
Conc	1,228	3,419	14,704	0,276	4,502	0,067	1,848	69,558	0,191	0,017	0,006	0,024	3,926
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ag	Sm	Hg	Pb	Eu
Conc	0,025	0,024	0,002	0,006	0,055	0,002	0,009	0,011	0,094	0,000	0,001	0,004	0,000
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Lu	Re	Os
Conc	0,000	0,000	0,000
Unit	%	%	%

ANEXO A3 – FRX da sílica ativa

Sample results

Sample ident
FRX sílica ativa

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	3
Measurement time	12-jan-2018 11:26:58

Normalisation factor	1,477
Minimum He Flow (l/min)	0,82

Compound	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	SO3	Cl	K2O	CaO	Ti	Cr	Mn	Fe2O3	Cu
Conc	2,612	0,556	87,366	0,420	1,097	0,625	2,809	0,710	0,008	0,002	0,070	3,148	0,009
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Ag	Sn	Sb	La	Pb
Conc	0,384	0,005	0,002	0,008	0,010	0,004	0,000	0,000	0,038	0,004	0,003	0,000	0,086
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Bi	Th	Eu	Ir
Conc	0,005	0,000	0,019	0,000
Unit	%	%	%	%

ANEXO A4 – FRX do pó de brita

Sample results

Sample ident
FRX pó de brita

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	4
Measurement time	12-jan-2018 11:39:52

Normalisation factor	1,370
Minimum He Flow (l/min)	0,81

Compound	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	Cl	K2O	CaO	Ti	V	Mn	Fe2O3	Ni	Cu
Conc	2,572	15,662	61,594	0,821	0,014	4,411	4,716	0,632	0,007	0,106	9,165	0,001	0,014
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	Nd	Pb
Conc	0,018	0,002	0,000	0,014	0,036	0,004	0,026	0,001	0,065	0,003	0,061	0,000	0,004
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Eu	Re	Ir
Conc	0,050	0,000	0,000
Unit	%	%	%

ANEXO A5 – FRX do tecido de juta

Sample results

Sample ident
FRX tecido de juta

Application	<Omnian>
Sequence	1 of 1
Position	6
Measurement time	15-fev-2018 10:34:23

Normalisation factor	35,992
Minimum He Flow (l/min)	0,98

Compound	MgO	Al2O3	SiO2	P2O5	Cl	K2O	CaO	Ti	V	Cr	Mn	Fe2O3	Cu
Conc	0,626	9,338	22,225	12,688	1,492	5,324	36,328	0,785	0,007	0,132	0,581	9,395	0,041
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	Zn	Sr	Ag	Eu	Re
Conc	0,140	0,023	0,844	0,032	0,000
Unit	%	%	%	%	%

ANEXO B - Granulometria a Laser dos Materiais

ANEXO B1 – Granulometria a Laser do cimento Portland comum CPI-S 40



**Laudo de Análise Sedimentométrica
Granulometria - Método Espalhamento de laser**

Nº LS23/18

ID: Cimento-UFAM

Tipo de amostra: Cimento

Data da amostragem: -

Data de recebimento: 16/01/18

Coletor:

Dados da análise

Nome da Partícula	Cement
Índice de refração da partícula	1,68
Índice de absorção da partícula	0,1
Dispersante	Ethanol
Índice de refração do dispersante	1,36
Dispensor da amostra	Hydro 2000MU (A)
Modelo de análise	General purpose
Obscuração	9,51
Resíduo	2,305
Concentração	0,0153
Span	2,83
Tipo de transformação de resultado	Volume
Volume médio ponderado D [4, 3]	34,392
Uniformidade	0,885
Área de superfície específica	0,534
Superfície média ponderada D [3, 2]	11,239
d (0,1)	7,186
d (0,5)	24,033
d (0,9)	75,191

Método de amostragem: Pontual

Procedimento analítico: IT-03-03-01

Método de análise: Espalhamento a laser

Observações: Sem ultrassom

Data da entrega do Resultado: 20/02/18

Bruno Del Rio Calvo
Analisado por: Bruno Del Rio Calvo

CREA PR - 134420/D

Nilda G. P. Pantoja

Responsável Técnico: Nilda Gorethe Palma Pantoja

Química - CRQ 14100875

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Superintendência Regional de Manaus

Laboratório de Análises Mineraiis - LAMIN Manaus

SEDE: SGAN QUADRA 603 Módulo I - 1º andar Brasília - DF CEP 70830 030 Tel (61) 312 5252 Fax (61)225 3985
LAMIN Manaus: Av. André Araújo, 2010 - Petrópolis - Manaus - AM CEP 69067-375 Tel (92) 2126 0381



**Laudo de Análise Sedimentométrica
Granulometria - Método Espalhamento de laser**

Nº LS23/18

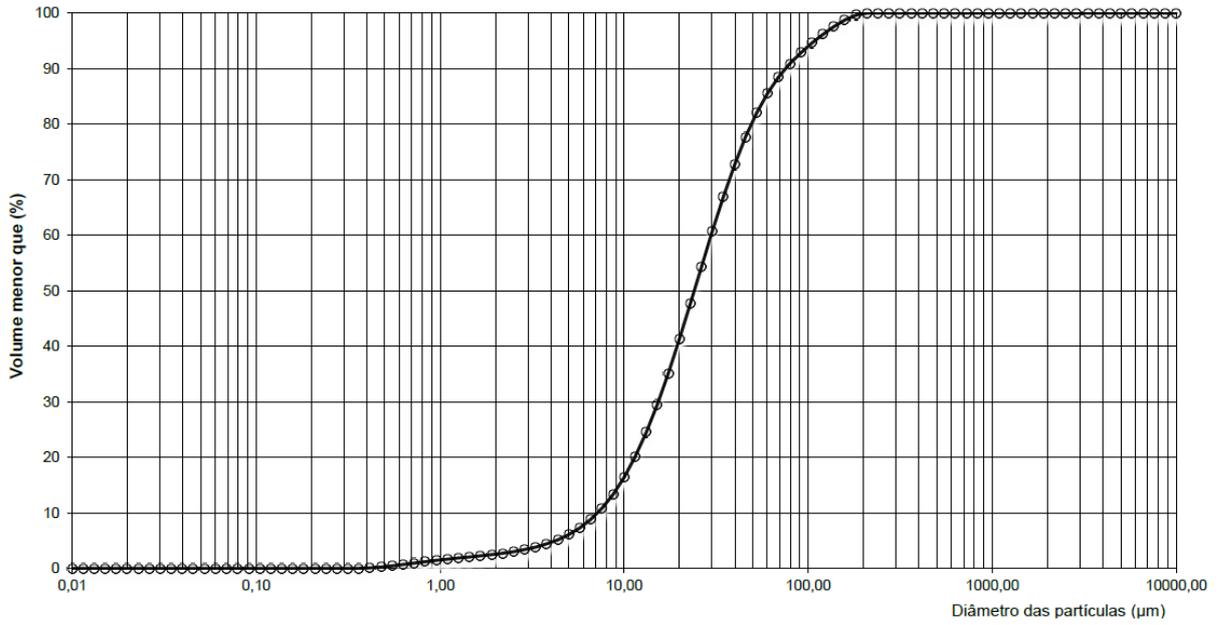
Resultados de medições de distribuição de tamanho de partículas

Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)	Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)	Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)
0,01		1,905461	0,21495	363,078055	0
0,011482	0	2,187762	0,250564	416,869383	0
0,013183	0	2,511886	0,301203	478,630092	0
0,015136	0	2,884031	0,369243	549,540874	0
0,017378	0	3,311311	0,459082	630,957344	0
0,019953	0	3,801894	0,578063	724,43596	0
0,022909	0	4,365158	0,73471	831,763771	0
0,026303	0	5,011872	0,942395	954,992586	0
0,0302	0	5,754399	1,210394	1096,4782	0
0,034674	0	6,606934	1,554967	1258,92541	0
0,039811	0	7,585776	1,976812	1445,43977	0
0,045709	0	8,709636	2,487875	1659,58691	0
0,052481	0	10	3,067044	1905,46072	0
0,060256	0	11,481536	3,713632	2187,76162	0
0,069183	0	13,182567	4,377817	2511,88643	0
0,079433	0	15,135612	5,039175	2884,0315	0
0,091201	0	17,378008	5,632864	3311,31122	0
0,104713	0	19,952623	6,12211	3801,89396	0
0,120226	0	22,908677	6,449251	4365,15832	0
0,138038	0	26,30268	6,581586	5011,87234	0
0,158489	0	30,199517	6,49476	5754,39937	0
0,18197	0	34,673685	6,187802	6606,93448	0
0,20893	0	39,810717	5,686902	7585,77575	0
0,239883	0	45,708819	5,038583	8709,6359	0
0,275423	0	52,480746	4,310083	10000	0
0,316228	0	60,255959	3,578691		
0,363078	0	69,183097	2,912877		
0,416869	0,079561	79,432823	2,373466		
0,47863	0,1494	91,201084	1,980764		
0,549541	0,207732	104,712855	1,729734		
0,630957	0,244002	120,226443	1,566632		
0,724436	0,26091	138,038426	1,422405		
0,831764	0,257737	158,489319	1,200392		
0,954993	0,241091	181,970086	0,865604		
1,096478	0,218088	208,929613	0,348174		
1,258925	0,198207	239,883292	0		
1,44544	0,188681	275,42287	0		
1,659587	0,193988	316,227766	0		

CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Superintendência Regional de Manaus
Laboratório de Análises Minerais - LAMIN Manaus

SEDE: SGAN QUADRA 603 Módulo I - 1º andar Brasília - DF CEP 70830 030 Tel (61) 312 5252 Fax (61)225 3985
LSQA: Av. André Araújo, 2010 Petrópolis Manaus - AM CEP 69067-375 Tel (92) 2126 0381

Curva da distribuição granulométrica do cimento Portland comum CP I-S 40.



CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Superintendência Regional de Manaus
Laboratório de Análises Mineraiis - LAMIN-MA



Laudo de Análise Sedimentométrica Granulometria - Método Espalhamento de laser

No. LS 25/2018

Resultados de medições de distribuição de tamanho de partículas

Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)	Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)	Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)
0,01		1,905461	0,381207	363,078055	0
0,01		1,905461	1,175964	363,078055	0
0,011482	0	2,187762	1,312373	416,869383	0
0,013183	0	2,511886	1,458373	478,630092	0
0,015136	0	2,884031	1,612925	549,540874	0
0,017378	0	3,311311	1,774048	630,957344	0
0,019953	0	3,801894	1,939815	724,43596	0
0,022909	0	4,365158	2,105884	831,763771	0
0,026303	0	5,011872	2,271094	954,992586	0
0,0302	0	5,754399	2,431536	1096,4782	0
0,034674	0	6,606934	2,590801	1258,92541	0
0,039811	0	7,585776	2,748791	1445,43977	0
0,045709	0	8,709636	2,912793	1659,58691	0
0,052481	0	10	3,079086	1905,46072	0
0,060256	0	11,481536	3,248626	2187,76162	0
0,069183	0	13,182567	3,408156	2511,88643	0
0,079433	0	15,135612	3,552642	2884,0315	0
0,091201	0	17,378008	3,669047	3311,31122	0
0,104713	0	19,952623	3,753623	3801,89396	0
0,120226	0	22,908677	3,802463	4365,15832	0
0,138038	0	26,30268	3,819293	5011,87234	0
0,158489	0	30,199517	3,810973	5754,39937	0
0,18197	0	34,673685	3,787514	6606,93448	0
0,20893	0	39,810717	3,75862	7585,77575	0
0,239883	0	45,708819	3,728756	8709,6359	0
0,275423	0	52,480746	3,693268	10000	0
0,316228	0,00623	60,255959	3,636493		
0,363078	0,070803	69,183097	3,532553		
0,416869	0,124168	79,432823	3,353465		
0,47863	0,189249	91,201084	3,073803		
0,549541	0,260761	104,712855	2,69456		
0,630957	0,338851	120,226443	2,226538		
0,724436	0,422972	138,038426	1,735095		
0,831764	0,513698	158,489319	1,241813		
0,954993	0,60881	181,970086	0,760348		
1,096478	0,71028	208,929613	0,259627		
1,258925	0,816203	239,883292	0		
1,44544	0,92907	275,42287	0		
1,659587	1,048148	316,227766	0		

CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Superintendência Regional de Manaus

Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN-MA

SEDE: SGAN QUADRA 603 Módulo I - 1º andar Brasília - DF CEP 70830 030 Tel (61) 312 5252 Fax (61)225 3985

LSQA: Av. André Araújo, 2160 Aleixo. Manaus - AM CEP 69060001 Tel (92) 2126-0301

ANEXO B3 - Granulometria a Laser da sílica ativa.



Laudo de Análise Sedimentométrica
Granulometria - Método Espalhamento de laser

No. LS 24/2018

Amostra: Sílica	Tipo de amostra:
Data de amostragem:	Data de recebimento: 16/01/2018
Cliente: -----	Coletor: -----

Dados da análise

Nome da Partícula	Fraunhofer
Índice de refração da partícula	0
Índice de absorção da partícula	0
Dispersante	Water
Índice de refração do dispersante	1,33
Dispersor da amostra	Hydro 2000MU (A)
Modelo de análise	General purpose
Obscuração	8,41
Resíduo	0,715
Concentração	0,0539
Span	1,669
Tipo de transformação de resultado	Volume
Volume médio ponderado D [4, 3]	105,86
Uniformidade	0,502
Área de superfície específica	0,139
Superfície média ponderada D [3, 2]	43,185
d (0,1)	26,558
d (0,5)	99,258
d (0,9)	192,202

Método de amostragem: Não informado
 Procedimento analítico: IT-03-03-01
 Método de análise: Espalhamento a laser

Observações: Sem ultrasom.

Data de entrega do resultado: 21/02/2018

Analisado por: Larissa Torrezani
 Engenheira Química - CRQ 2302467

Nilda Q. P. Pantoja
 Responsável Técnico: Nilda Pantoja
 Química - CRQ 14100875

CPRM - Serviço Geológico do Brasil
 Superintendência Regional de Manaus
 Laboratório de Análises Minerais - LAMIN-MA

SEDE: SGAN QUADRA 603 Módulo I - 1º andar Brasília - DF CEP 70830 030 Tel (61) 312 5252 Fax (61) 225 3985
 LSQA: Av. André Araújo, 2160 Aleixo, Manaus - AM CEP 69060001 Tel (92) 2126-0301



**Laudo de Análise Sedimentométrica
Granulometria - Método Espalhamento de laser**

No. LS 24/2018

Resultados de medições de distribuição de tamanho de partículas:

Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)	Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)	Diâmetro da partícula (µm)	Volume (%)
0,01		1,905461	0,381207	363,078055	0
0,01		1,905461	0,124139	363,078055	0
0,011482	0	2,187762	0,137723	416,869383	0
0,013183	0	2,511886	0,148929	478,630092	0
0,015136	0	2,884031	0,156685	549,540874	0
0,017378	0	3,311311	0,160261	630,957344	0
0,019953	0	3,801894	0,159503	724,43596	0
0,022909	0	4,365158	0,155123	831,763771	0
0,026303	0	5,011872	0,149141	954,992586	0
0,0302	0	5,754399	0,145712	1096,4782	0
0,034674	0	6,606934	0,151518	1258,92541	0
0,039811	0	7,585776	0,175462	1445,43977	0
0,045709	0	8,709636	0,228623	1659,58691	0
0,052481	0	10	0,31858	1905,46072	0
0,060256	0	11,481536	0,453406	2187,76162	0
0,069183	0	13,182567	0,627425	2511,88643	0
0,079433	0	15,135612	0,835924	2884,0315	0
0,091201	0	17,378008	1,055766	3311,31122	0
0,104713	0	19,952623	1,269529	3801,89396	0
0,120226	0	22,908677	1,452962	4365,15832	0
0,138038	0	26,30268	1,601178	5011,87234	0
0,158489	0	30,199517	1,725693	5754,39937	0
0,18197	0	34,673685	1,869771	6606,93448	0
0,20893	0	39,810717	2,100107	7585,77575	0
0,239883	0	45,708819	2,499337	8709,6359	0
0,275423	0	52,480746	3,139814	10000	0
0,316228	0	60,255959	4,053853		
0,363078	0	69,183097	5,215409		
0,416869	0	79,432823	6,504012		
0,47863	0	91,201084	7,753007		
0,549541	0	104,712855	8,728362		
0,630957	0	120,226443	9,244506		
0,724436	0	138,038426	9,162172		
0,831764	0	158,489319	8,453897		
0,954993	0,024928	181,970086	7,232458		
1,096478	0,068936	208,929613	5,644702		
1,258925	0,078965	239,883292	3,973856		
1,44544	0,093676	275,42287	2,294362		

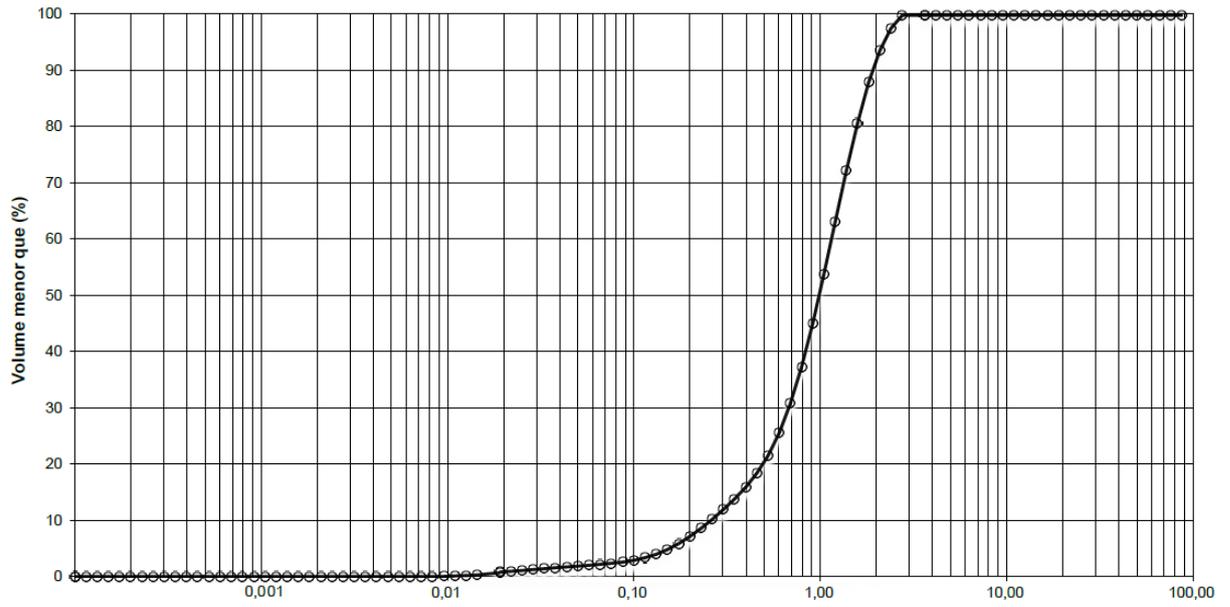
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Superintendência Regional de Manaus

Laboratório de Análises Minerais - LAMIN-MA

SEDE: SGAN QUADRA 603 Módulo I - 1ª andar Brasília - DF CEP 70830 030 Tel (61) 312 5252 Fax (61)225 3985

LSQA: Av. André Araújo, 2160 Alseixo, Manaus - AM CEP 69060001 Tel (92) 2126-0301

Curva da distribuição granulométrica da sílica ativa.



ANEXO C – Certificado do cimento

	CIMENTO VENCEMOS DO AMAZONAS LTDA Rua Desembargado Cesar do Rego, n. 02, Colonia Antonio Aleixo CEP:69.008-445 - Manaus - AM CNPJ: 00.013.314/0001-29 - Inscrição Estadual: 04.109.187-6 Tel: (92) 2125-5150 - Fax: (92) 2125-5155 - e-mail: marafabiana.moreira@cemex.com			
	CERTIFICADO DO PRODUTO Nº. 002-18-CPIS40			
Produto: Amostra: Data de Fabricação Local de Coleta: Notas Fiscais:	CIMENTO PORTLAND CPI S 40 (GRANEL E ENSACADO) Fornecedor - Recebimento - 14/04/2018 02/04/2018 Venezuela A partir de 0109635 (A partir de 15/04/2018) - GRANEL A partir de 0109635 (A partir de 15/04/2018) - ENSACADO			
ANÁLISE QUÍMICA				
			RESULTADO	ESPECIFICAÇÃO
Anidrido Sulfúrico	(SO ₃)	%	2,80	≤ 4,0
Dióxido de Carbono	(CO ₂)	%	-	≤ 3,0
Dióxido de Silício	(SiO ₂)	%	21,32	-
Óxido Cálcio Livre	(CaO.l)	%	-	-
Óxido de Alumínio	(Al ₂ O ₃)	%	5,24	-
Óxido de Cálcio	(CaO)	%	64,52	-
Óxido de Ferro	(Fe ₂ O ₃)	%	3,66	-
Óxido de Magnésio	(MgO)	%	0,79	≤ 6,5
Óxido de Potássio	(K ₂ O)	%	0,49	-
Óxido de Sódio	(Na ₂ O)	%	0,22	-
Perda ao Fogo	(P.F.)	%	0,86	≤ 4,5
Resíduo Insolúvel	(R.I.)	%	0,21	≤ 5,0
ANÁLISE FÍSICA				
			RESULTADO	ESPECIFICAÇÃO
Água para Consistência Normal		%	-	-
Blaine	(m ² /Kg)		390,7	≥ 280
Expansibilidade a Quente	mm		0,34	≤ 5
Finura # 75 µm		%	-	≤ 10,0
Resistência a Compressão por idade	1 Dia	MPa	9,9	-
	3 Dias	MPa	21,5	≥ 15,0
	7 Dias	MPa	30,3	≥ 25,0
	28 Dias	MPa	-	≥ 40,0
Tempo de Pega	Início	h	02h05min	≥ 1
	Fim	h	03h35min	≤ 10,0
OBSERVAÇÕES: Certificado Fornecedor - N. EXP-TI-03 - 02/04/2018. Relatório de Ensaio de Confirmação - Químico - No aguardo. Relatório de Ensaio de Confirmação - Físico - No aguardo.				
Manaus, 15 de Abril de 2018			 Ronny Araújo Martins Químico Responsável - CRQ-14402482	