

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Julio Roberto Uszacki Junior

CONCRETO COM RESÍDUOS DE VIDRO NO ESTADO DO ACRE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor
Dr. Alcebíades Negrão Macedo

Belém – Pará – Brasil

2022

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



Julio Roberto Uszacki Junior

Concreto com resíduos de vidro no Estado do Acre

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Belém

2022

- U84c Uszacki Junior, Julio Roberto.
 Concreto com resíduos de vidro no Estado do Acre / Julio
 Roberto Uszacki Junior. — 2022.
 261 f. : il. color.
- Orientador: Dr. Alcebíades Negrão Macedo
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia Civil, Belém, 2022.
1. Resíduos. 2. Vidro moído. 3. Concreto com vidro. I.
 Título.

CONCRETO COM RESÍDUOS DE VIDRO NO ESTADO DO ACRE

AUTOR:

JULIO ROBERTO USZACKI JUNIOR

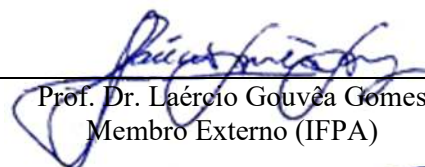
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 05 / 07 / 2022

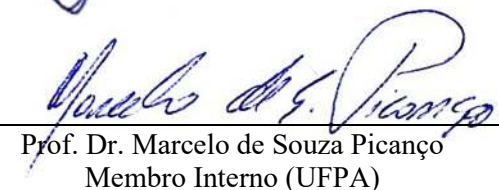
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macedo
Orientador (UFPA)



Prof. Dr. Laércio Gouvêa Gomes
Membro Externo (IFPA)



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Membro Interno (UFPA)

Visto:



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Mas se audaz estrangeiro, algum dia
Nossos brios de novo ofender
Lutaremos com a mesma energia
Sem recuar, sem cair, sem temer
(9ª estrofe do hino acreano)

AGRADECIMENTOS

Sempre em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus.

Ao meu orientador Professor Doutor Alcebíades Negrão Macedo.

Aos meus pais, Julio Roberto Uszacki e Elisabeth Machado Uszacki.

A minha irmã Silvia Maria Machado Uszacki.

A Dayana Moreira Menezes Uszacki, mulher, mãe e esposa.

A Maria Julia Menezes Machado Uszacki, minha filha querida e amada.

Nada disso seria possível sem a ajuda destas pessoas, sempre se colocando se sacrificando para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.

RESUMO

O agregado miúdo mais utilizados no estado do Acre é a areia do rio Acre, este é um agregado, que, não se enquadra na granulometria recomendada pela “ABNT NBR 7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação”, por ser muito fino, produzindo concretos alto consumo de cimento. Os resíduos de vidro no estado do Acre não possuem nenhum tipo de reciclagem, sendo apenas descartados nos aterros. Dentre os estudos realizados, se compararam os preços dos insumos de concreto nos estados do Acre, Rondônia, Pará, São Paulo e Distrito Federal, afim de apresentar a realidade acreana quanto ao alto custo da elaboração de concretos, na parte prática do estudo, foram elaborados concretos convencionais acreano (cimento portland, areia do rio Acre e brita comercial) para se comparar, também foram elaborados concretos, que possuem em sua composição, a substituição parcial da areia do rio Acre, por vidro moído, nas proporções 5%, 10%, 15% e 20% e na granulometria: retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,2mm. Para a elaboração dos concretos primeiros fez-se a caracterização dos materiais realizando-se os ensaios granulometria, densidade, massa unitária, absorção, vazios. A mistura de agregado miúdo areia do rio Acre e vidro moído, apresentaram melhorias na granulometria, redução da absorção e vazios, além de aumento na massa unitária. Após utilizou-se o método de dosagem do IBRACON, com leves adaptações para se determinar os traços utilizados. Foram realizadas 11 betonadas, sendo, três de concreto sem vidro moído, duas para cada porcentagem de concretos com vidro moído. Quanto as características de absorção, vazios e densidade, foram percebidas pequenas diferenças, com tendências de melhorias para os concretos com vidro moído, já para a resistência mecânica a compressão, foram identificados ganhos em proporções que vão de 5% a 20% nos concretos com vidro se comparados aos concretos sem vidro.

Palavras Chaves: Resíduos. Vidro moído. Concreto com vidro.

ABSTRACT

The sand from Acre River is the finest aggregate mostly used in the state of Acre but it does not fit the granulometry recommended by "ABNT NBR 7211:2009 - Aggregates for concrete - Specification", because it is very fine and produces concrete with high consumption of cement. The glass waste in the state of Acre does not have any type of recycling, which has only been discarded in landfills. Some prices comparisons have been done among the states of Acre, Rondônia, Pará, São Paulo and Distrito Federal, in order to present the reality of Acre regarding to the high cost of concrete preparation. In the practical part of the study, Conventional Acre concretes were prepared (Portland cement, sand from the Acre River and commercial gravel) to be compared. Also, concretes that have in their composition, the partial replacement of the sand from the Acre river, by ground glass, in the proportions of 5%, 10 %, 15% and 20% and in the granulometry: retained in the 0.6mm opening sieve and passing through the 1.2mm opening sieve. For the preparation of the first concretes, the characterization of the materials was made, taking into consideration, the granulometry, density, unit mass, absorption, voids. The mixture of fine aggregate sand from the Acre River and ground glass has shown improvements in granulometry, reduced absorption and voids, in addition to an increase in unit mass. Afterwards, the IBRACON dosage method was used, with slight adaptations to determine the traits. Eleven castings were carried out, three of concrete without ground glass, two for each percentage of concrete with ground glass. As for the characteristics of absorption, voids and density, small differences were noticed, with trends of improvement for concretes with ground glass. However, for the mechanical resistance to compression, gains were identified in proportions ranging from 5% to 20% in concretes with glass compared to non-glass concrete.

Keywords: Waste. Ground glass. Concrete with glass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Mapa do Acre – Divisão Regional.	22
Figura 2.1 – Materias constituintes das pasta, argamassa, concreto e outros.	25
Figura 2.2 – Classificação dos aglomerantes.	27
Figura 2.3 – Designação Técnica nos Sacos de Cimento Portland.	27
Figura 2.4 – Cimento Ciplan e Cimento Itaú.	28
Figura 2.5 – Classificação dos agregados conforme a origem.	29
Figura 2.6 – Exemplos dos agregados conforme a origem.	30
Figura 2.7 – Mistura Manual do Concreto	31
Figura 2.8 – Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto.	33
Figura 2.9 – Estados do concreto.	34
Figura 2.10 – Esquema de ensaio a compressão axial do concreto.	38
Figura 2.11 – Ensaio a compressão axial do concreto.	38
Figura 2.12 - Classificação do concreto – Exemplo de Designação Normalizada.	43
Figura 2.13 – Fatores básicos do processo de dosagem	44
Figura 2.14 - Diagrama de fluxo do método de dosagem IBRACON	50
Figura 2.15 - Diagrama de Dosagem do Método de Dosagem IBRACON	52
Figura 2.16 – Linha do tempo da evolução do vidro.	56
Figura 2.17 – Exemplos de vidros aplicados na construção civil.	57
Figura 2.18 – Participação por produto em 2018.	57
Figura 2.19 – Estrutura atômica da sílica (SiO ₂).	59
Figura 2.20 – Vidros recicláveis.	63
Figura 2.21 – Exemplos de vidros triturados em granulometrias variadas.	64
Figura 2.22 – Vidros moído em peneira de laboratório.	66
Figura 2.23 – Processo de reação álcali-agregado.	69
Figura 2.24 – Mapa do Brasil em destaque o Estado do Acre.	74
Figura 2.25 – Mapa do Estado do Acre: Principais Rios e Rodovias.	75
Figura 2.26 – Mapa do Acre – Divisão Regional.	75
Figura 2.27 – Mapa geológico do Acre - unidades litoestratigráficas aflorantes	76
Figura 2.28 – Dragagem de extração de areia no Rio Acre.	77
Figura 2.29 – Curvas granulométricas dos agregados miúdo do estado do Acre.	78
Figura 2.30 – Unidade de Trataento de Resíduos Sólidos de Rio Branco (UTRE/RB).	79

Figura 2.31 – Visão geral de unidade de disposição de resíduos domésticos, UTRE/RB.	79
Figura 2.32 – Visão geral de unidade de disposição de resíduos domésticos, UTRE/RB.	80
Figura 2.33 – Armazenagem de pneus descartados, UTRE/RB.....	80
Figura 2.34 – Recicladoras de resíduos da construção civil, UTRE/RB.....	80
Figura 2.35 – Vidro fusão, técnica que reaproveita garrafas e restos de vidraçaria.	81
Figura 3.1 – PRS – Processadora de Resíduos Sólidos – Porto Velho/RO.....	86
Figura 3.2 – Sede da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre – FUNTAC.	87
Figura 3.3 – Laboratório de Tecnologia do Concreto e Argamassa da FUNTAC.	87
Figura 3.4 – Universidade Federal do Acre – UFAC – Campus Rio Branco.	88
Figura 3.5 – Universidade Federal do Acre – UFAC – Campus Rio Branco.	88
Figura 3.6 – Fluxograma do planejamento experimental.	93
Figura 3.7 – Classificação no saco de 50kg do CP II Z 32.....	94
Figura 3.8 – Saco de 50kg	94
Figura 3.9 – Separação em sacos plásticos de 10kg.	94
Figura 3.10 – Amostra no frasco “Le Chatelier”.....	95
Figura 3.11 – Amostras de Cimento.....	95
Figura 3.12 – Banho termoregulador.....	95
Figura 3.13 – Estufa para secagem.....	96
Figura 3.14 – Bombonas para armazenamento	96
Figura 3.15 – Saco de 20kg de Brita 1 Comercial.....	97
Figura 3.16 – Ensaio de granulometria do agregado graúdo – material retido.	97
Figura 3.17 – Curva granulométrica do agregado graúdo.	98
Figura 3.18 – Ensaio de absorção e densidades.	99
Figura 3.19 – Massa unitária do agregado graúdo.....	100
Figura 3.20 – Saco de Areia do rio Acre.	102
Figura 3.21 – Areia para secagem em estufa.....	102
Figura 3.22 – Areia do rio Acre e vidro moído.	102
Figura 3.23 – Areia do rio Acre com o acréscimo de vidro moído.	103
Figura 3.24 – Conjunto de peneiras.....	103
Figura 3.25 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo sem vidro.....	105
Figura 3.26 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo com 5% de vidro.	105
Figura 3.27 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo com 10% de vidro.	106
Figura 3.28 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo com 15% de vidro.	106

Figura 3.29 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo com 20% de vidro.	107
Figura 3.30 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos.	107
Figura 3.31 – Ensaio de densidade.	109
Figura 3.32 – Massa específica saturada com superfície seca.	110
Figura 3.33 – Massa unitária	111
Figura 3.34 – Agregado miúdo material fino por lavagem.	113
Figura 3.35 – Inchamento da areia do rio Acre.	114
Figura 3.36 – Exemplo de vidro traturado e matéria-prima.	115
Figura 3.37 – Vidro Britado obtido na PRS Recicladora.	115
Figura 3.38 – Curva granulométrica da areia do Rio Acre.	116
Figura 3.39 – Britador de Vidro da PRS Recicladora.	117
Figura 3.40 – Vidro Britado obtido na PRS Recicladora.	117
Figura 3.41 – Vidro Britado obtido na PRS Recicladora.	117
Figura 3.42 – Moedor Caseiro de Vidro.	118
Figura 3.43 – Vidro peneirado na granulometria desejada ($0,6\text{mm} < \text{vidro} < 1,18\text{mm}$).	120
Figura 3.44 – Vidro peneirado na granulometria desejada ($0,6\text{mm} < \text{vidro} < 1,18\text{mm}$).	120
Figura 3.45 – Comparativo:	120
Figura 3.46 – Comparativo:	120
Figura 3.47 – Materiais separados para concretagem.	121
Figura 3.48 – Prensa hidráulica da FUNTAC.	121
Figura 3.49 – Betoneira utilizada, capacidade de 250l.	124
Figura 3.50 – Quantidade de betonadas: Planejadas x Executadas.	125
Figura 3.51 – Argamassa executada antes das concretagens e água adicionada.	127
Figura 3.52 – Corpos de prova moldados.	128
Figura 3.53 – Desformas dos corpos de prova.	128
Figura 3.54 – Cura dos corpos de prova.	128
Figura 3.55 – Retificação do corpos de prova.	128
 Figura 4.1 – Comparativo preço (R\$) do quilo do CP II e CP IV.	 134
Figura 4.2 – Comparativo preço (R\$) do saco de 50Kg do CP II e CP IV.	134
Figura 4.3 – Comparativo preço (R\$) do m^3 dos agregados miúdos.	139
Figura 4.4 – Comparativo preço do m^3 dos agregados graúdos.	142
Figura 4.5 – Abatimento de tronco cônico (Slumptest).	143
Figura 4.6 – Densidade do concreto fresco.	144

Figura 4.7 – Adsorção, Vazios e Densidade do concreto endurecido.	147
Figura 4.8 – Rompimentos dos corpos de prova.	154
Figura 4.9 – Análise das tensões da 1ª betonada (B1).....	165
Figura 4.10 – Análise das tensões da 2ª betonada (B2).....	167
Figura 4.11 – Análise das tensões da 7ª betonada (B7).....	169
Figura 4.12 – Análise das tensões da 3ª betonada (B3).....	171
Figura 4.13 – Análise das tensões da 8ª betonada (B8).....	172
Figura 4.14 – Análise das tensões da 4ª betonada (B4).....	174
Figura 4.15 – Análise das tensões da 9ª betonada (B9).....	176
Figura 4.16 – Análise das tensões da 5ª betonada (B5).....	178
Figura 4.17 – Análise das tensões da 10ª betonada (B10).....	179
Figura 4.18 – Análise das tensões da 6ª betonada (B6).....	181
Figura 4.19 – Análise das tensões da 11ª betonada (B11).....	183
Figura 4.20 – Diagrama dos Concretos– fck 28dias.....	184
Figura 4.21 – Projeção do gráfico do IBRACON – fck 28dias.	184
Figura 4.22 – Análise das tensões da 1ª série de betonadas.	185
Figura 4.23 – Análise das tensões da 2ª série de betonadas.	187

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Definições de aglomerantes conforme.	26
Quadro 2.2 – Principais normas referentes as propriedades dos agregados.	30
Quadro 2.3 – Classificação dos tipos de água.	32
Quadro 2.4 – Principais tipos de concretos.	35
Quadro 2.5 - Fatores que influenciam a trabalhabilidade.	37
Quadro 2.6 – Classificação dos agentes agressivos.	40
Quadro 2.7 – Classificação do concreto através da massa específica.	40
Quadro 2.8 – Alguns Métodos de Dosagem.	43
Quadro 2.9 – Informações necessárias para a dosagem do concreto.	45
Quadro 2.10 – Metodos de medida do concreto e seus componetes.	45
Quadro 2.11 – Termos e definições – concreto de cimento portland.	46
Quadro 2.12 – Condições de preparo do concreto e desvio padrão (Sd).	48
Quadro 2.13 – Modelos de comportamento adotados pelo método do IBRACON	49
Quadro 2.14 – Definição de vidro encontrada em livros-texto publicados na década de 90. ..	54
Quadro 2.15 – ABNT NBR 15.577 - Agregados - Reatividade álcali-agregado	69
Quadro 2.16 – Termos e definições – reatividade álcali-agregado.	70
Quadro 2.17 – Classificação da estrutura quanto a aeação álcalis-sílica (RAS)	71
Quadro 2.18 – Grau de intensidade da medida preventiva.	71
Quadro 2.19 – Medidas de mitigação da expansão devida a RAS.	73
Quadro 3.1 – Medidas de tendência Central.	92
Quadro 3.2 – Caracterização dos materiais	96
Quadro 3.3 - Medidas de tendência, localização e dispersão – Definições.	129
Quadro 3.4 – Medidas de tendência, localização e dispersão - Equações.	130
Quadro 4.1 – Determinação das massas seca, imersa e saturada.	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de cimentos portland comercializados no Brasil.	28
Tabela 2.2 – Resistências à compressão de rochas para agregados de concreto nos E.U.A. ...	31
Tabela 2.3 – Classificação do concreto através da resistência característica à compressão	41
Tabela 2.4 – Classificação do concreto através do abatimento ou espalhamento	42
Tabela 2.5 – Composição química geral do vidro	58
Tabela 2.6 – Algumas composições típicas de diversos vidros comerciais	61
Tabela 2.7 - Concreto estrutural preparo mecânico com betoneira de capacidade de 400l.	83
Tabela 2.8 - Concreto estrutural preparo mecânico com betoneira de capacidade de 600l.	83
Tabela 2.9 - Tipos de cimentos portland do catálogo de insumos do SINAPI.....	84
Tabela 2.10 - Tipos de areias do catálogo de insumos do SINAPI	85
Tabela 2.11 – Tipos de areias do catálogo de insumos do SINAPI.....	85
Tabela 3.1 - Tipos de cimentos portland do catálogo de insumos do SINAPI.....	90
Tabela 3.2 - Tipos de cimentos portland do catálogo de insumos do SINAPI.....	90
Tabela 3.3 - Tipos de agregado miúdo do catálogo de insumos do SINAPI.....	90
Tabela 3.4 - Tipos de agregado miúdo do catálogo de insumos do SINAPI.....	91
Tabela 3.5 – Tipos de pedra britada do catálogo de insumos do SINAPI.....	91
Tabela 3.6 – Tipos de pedra britada do catálogo de insumos do SINAPI.....	91
Tabela 3.7 - Elementos químicos no cimento CIPLAN CP II Z 32	94
Tabela 3.8 – Determinação da densidade do cimento Portland – CP II Z 32 CIPLAN	95
Tabela 3.9 – Granulometria do agregado graúdo – Porcentagem média do material retido. ...	98
Tabela 3.10 – Granulometria agregado graúdo – Módulos de finura.....	98
Tabela 3.11 – Densidade e absorção de água do agregado graúdo (NBR 16917)	99
Tabela 3.12 – Massa unitária e índice de vazios do agregado graúdo (NBR 16972).....	100
Tabela 3.13 – Material passante na peneira #75 µm por lavagem do agregado graúdo.....	101
Tabela 3.14 – Granulometria – massa das amostras iniciais.	104
Tabela 3.15 – Granulometria – Porcentagem média do material retido.....	108
Tabela 3.16 – Granulometria – Módulos de finura.	108
Tabela 3.17 – Absorção água do agregado miúdo.....	109
Tabela 3.18 – Densidade do agregado miúdo seco.	109
Tabela 3.19 – Massa específica do agregado miúdo SSS.	110
Tabela 3.20 – Massa unitária seca do agregado miúdo.	111

Tabela 3.21 – Massa unitária SSS do agregado miúdo.	112
Tabela 3.22 – Índice de vazios do agregado miúdo.	112
Tabela 3.23 – Material fino do agregado miúdo.	113
Tabela 3.24 – Inchamneto da areia do rio Acre.....	114
Tabela 3.25 – Granulometria da areia do Rio Acre.....	116
Tabela 3.26 – Ensaio tecnológicos do concreto.....	121
Tabela 3.27 – Limites recomendados pelo Método IBRACON.....	122
Tabela 3.28 – Concreto do Projeto.....	123
Tabela 3.29 – Traços unitários e em massa do concreto planejado.....	124
Tabela 3.30 – Traços unitários e em massa do concreto planejado.....	125
Tabela 3.31 – Ordem de entrada do material na betoneira.....	126
Tabela 4.1 – Preços dos insumos CP II 32 e CP IV 32 em unidade Kg.....	132
Tabela 4.2 – Preços dos insumos CP II 32 e CP IV 32 em unidade de sacos de 50Kg.....	132
Tabela 4.3 – Preços dos insumos CP II 32 e CP IV 32 em unidade de Kg e sacos de 50Kg.....	133
Tabela 4.4 – Preços dos insumos Areia Fina e Areia Grossa em unidade de m ³	135
Tabela 4.5 – Preços dos insumos Areia Média e Pó de Pedra em unidade de m ³	135
Tabela 4.6 – Preços dos insumos, agregados miúdos, unidade m ³	136
Tabela 4.7 – Preços dos insumos Pedra Britada Nº 0 e Nº 1 em unidade de m ³	140
Tabela 4.8 – Preços dos insumos Pedra Britada Nº 2 e Nº 3 em unidade de m ³	140
Tabela 4.9 – Preços dos insumos Pedra Britada Nº 0, Nº 1, Nº 2 e Nº 3 em unidade de m ³	141
Tabela 4.10 – Abatimento de tronco cônico do concreto fresco.	143
Tabela 4.11 – Massa específica do concreto fresco.....	145
Tabela 4.12 – Consumo de cimento por betonada.....	146
Tabela 4.13 – Absorção d’água do concreto endurecido.....	148
Tabela 4.14 – Absorção d’água do concreto endurecido - resumo.	149
Tabela 4.15 – Índice de vazios do concreto endurecido.....	150
Tabela 4.16 – Índice de vazios do concreto endurecido - resumo.....	150
Tabela 4.17 – Densidades do concreto endurecido.	151
Tabela 4.18 – Densidade do concreto endurecido.....	152
Tabela 4.19 – Dendidade do concreto endurecido - resumo.	153
Tabela 4.20 – Dados 1ª Betonada (B1) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	155
Tabela 4.21 – Dados 2ª Betonada (B2) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	156
Tabela 4.22 – Dados 7ª Betonada (B7) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	156

Tabela 4.23 – Dados 3ª Betonada (B3) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	157
Tabela 4.24 – Dados 8ª Betonada (B8) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	158
Tabela 4.25 – Dados 4ª Betonada (B4) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	159
Tabela 4.26 – Dados 9ª Betonada (B9) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	159
Tabela 4.27 – Dados 5ª Betonada (B5) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	160
Tabela 4.28 – Dados 10ª Betonada (B10) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	161
Tabela 4.29 – Dados 6ª Betonada (B6) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	162
Tabela 4.30 – Dados 11ª Betonada (B11) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.....	162
Tabela 4.31 – Relação fator a/c x abatimento das betonadas.	163
Tabela 4.32 – Dados estatísticos da 1ª Betonada (B1).	164
Tabela 4.33 – Dados estatísticos da 2ª Betonada (B2).	166
Tabela 4.34 – Dados estatísticos da 7ª Betonada (B7).	168
Tabela 4.35 – Dados estatísticos da 3ª Betonada (B3).	170
Tabela 4.36 – Dados estatísticos da 8ª Betonada (B8).	172
Tabela 4.37 – Dados estatísticos da 4ª Betonada (B4).	173
Tabela 4.38 – Dados estatísticos da 9ª Betonada (B9).	175
Tabela 4.39 – Dados estatísticos da 5ª Betonada (B5).	177
Tabela 4.40 – Dados estatísticos da 10ª Betonada (B10).	179
Tabela 4.41 – Dados estatísticos da 6ª Betonada (B6).	180
Tabela 4.42 – Dados estatísticos da 11ª Betonada (B11).	182
Tabela 4.43 – Porcentagem de ganho de resistência entre betonadas.....	188

LISTA DE SIGLAS

ABIVIDRO	Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVIDRO	Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de
Vidros Planos	
ACI	American Concrete Institute (<i>Instituto Americano do Concreto</i>)
ARC	Agregado Reciclado de Concreto
ARM	Agregado Reciclado Misto
AS	Atribuído São Paulo
BC	Baixo Calor de Hidratação
C	Concreto Nomal
C	Preço Unitário Coletado
CAIXA	Caixa Econômica Federal
CD	Concreto Denso ou Pesado
CL	Concreto Leve
CP	Cimento Portland
CP	Corpo de Prova
CR	Coefficiente de Representatividade
DMC	Dimensão máxima característica
fck	Resistência característica à compressão
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
IMAC	Instituto de Meio Ambiente do Acre
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MEA	Massa Específica Aparente
MER	Massa Específica Absoluta ou Real
MF	Módulo de Finura
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PMRB	Prefeitura Municipal de Rio Branco/AC
RAA	Reação álcali-agregado
RAC	Reação álcali-carbonato
RAS	Reação álcali-sílica

RS	Resistente a Sulfatos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSCC	Resíduos Sólidos da Construção Civil
SEMA	Secretaria de Meio ambiente do Acre
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção
Civil	
UTRE	Unidade de Tratamento de Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	21
1.1.	JUSTIFICATIVA	21
1.2.	DELIMITAÇÃO DO TEMA	22
1.3.	OBJETIVOS.....	23
1.3.1.	GERAL	23
1.3.2.	ESPECÍFICO	23
1.4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICAS.....	24
2.1.	O CONCRETO.....	24
2.1.1.	COMPOSIÇÃO DO CONCRETO	24
2.1.1.1.	Os Aglomerantes	26
2.1.1.2.	Os Agregados	28
2.1.1.3.	A Água para o concreto	31
2.1.1.4.	Outros Componentes Do Concreto.....	33
2.1.1.5.	Estados do Concreto (Fresco, Pega e Endurecido).....	34
2.1.2.	TIPOS DO CONCRETO	35
2.1.2.1.	Propriedades do Concreto.....	36
2.1.2.2.	Classificação do Concreto	40
2.1.2.3.	Designação Normalizada.....	42
2.1.3.	DOSAGEM DO CONCRETO	43
2.1.3.1.	Resistência Média de Dosagem.....	47
2.1.3.2.	Método de dosagem experimental do IBRACON.....	48
2.1.3.3.	Manipulação do Concreto.....	52
2.2.	O VIDRO.....	54
2.2.1.	CONTEXTO HISTÓRICO	55
2.2.1.1.	Vidro na Construção Civil.....	56
2.2.1.2.	Vidro na economia brasileira.....	57
2.2.2.	MATÉRIA-PRIMA GERAL DO VIDRO E ESTRUTURA ATÔMICA.....	58
2.2.2.1.	Composição Química Geral dos Vidros	59
2.2.2.2.	Propriedades Físicas e Mecânicas do Vidro	61
2.2.3.	RESÍDUOS DE VIDRO.....	62

2.2.3.1.	Reciclagem do Vidro	62
2.2.4.	APLICAÇÃO DE VIDRO EM ARGAMASSAS E CONCRETOS	63
2.2.4.1.	Estudos com aplicação de vidro em argamassas	64
2.2.4.2.	Estudos com aplicação de vidro em concretos	65
2.2.5.	REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADOS (RAA)	68
2.3.	O ESTADO DO ACRE	73
2.3.1.	A PROBLEMÁTICA ACREANA PARA ELABORAR DE CONCRETOS ESTRUTURAIS	74
2.3.1.1.	Formação Geológica do Estado do Acre	76
2.3.1.2.	Granulometria da Areia do Rio Acre.....	77
2.3.2.	RECICLAGEM DE VIDRO NO ACRE	78
2.4.	INSUMOS PARA CONCRETO	81
2.4.1.	SISTEMA NACIONAL DE ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SINAPI.....	82
2.4.2.	COMPOSIÇÃO CONCRETO ESTRUTURAL.....	83
2.4.3.	INSUMOS DO CONCRETO ESTRUTURAL	84
2.4.3.1.	Insumo - Cimento Portland	84
2.4.3.2.	Insumo - Agregado Miúdo (areia e pó de brita)	85
2.4.3.3.	Insumo - Agregado Graúdo (brita)	85
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	86
3.1.	PARCEIROS DOS ESTUDOS	86
3.1.1.	PRS – PROCESSADORA DE RESÍDUOS SÓLIDOS – PORTO VELHO/RO	86
3.1.2.	FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE (FUNTAC).....	87
3.1.3.	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE (UFAC)	87
3.2.	LEVANTAMENTO DOS PREÇOS DE INSUMOS PARA CONCRETO	88
3.2.1.	ESPECIFICAÇÃO DOS INSUMOS PRECIFICADOS	89
3.2.1.1.	Preços do Cimento portland	90
3.2.1.2.	Preços Agregado Miúdo	90
3.2.1.3.	Preços Agregado Graúdo.....	91
3.2.2.	MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL E RELAÇÃO EM PORCENTAGEM	91
3.2.2.1.	Medidas de Tendência Central	91
3.2.2.2.	Relação em Porcentagem.....	92
3.3.	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	92
3.3.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	93
3.3.1.1.	Cimento Portland.....	93

3.3.1.2.	Agregados	95
3.3.1.3.	Agregado Graúdo (Brita 1).....	97
3.3.1.4.	Agregado Miúdo (Areia do Rio Acre e Vidro Moído).....	102
3.3.1.5.	Vidro Moído	115
3.3.2.	PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	120
3.3.2.1.	Ensaio Tecnológicos do Concreto	121
3.3.2.2.	Dosagem do concreto	122
3.3.2.3.	Betonadas	124
3.3.2.4.	Forma, Desforma, Retificação e Cura	127
3.3.3.	DADOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS PARA ANÁLISES	128
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	131
4.1.	PREÇOS DOS INSUMOS DO CONCRETO ESTRUTURAL.....	131
4.1.1.	PREÇO DO CIMENTO PORTLAND	131
4.1.2.	PREÇO DO AGREGADO MIÚDO.....	134
4.1.2.1.	Relação de preços da Areia Fina	136
4.1.2.2.	Relação de preços da Areia Grossa	137
4.1.2.3.	Relação de preços da Areia Média	137
4.1.2.4.	Relação de preços do Pó de Pedra	138
4.1.3.	PREÇO DO AGREGADO GRAÚDO	139
4.1.3.1.	Relação de preços da Brita Nº 0	141
4.1.3.2.	Relação de preços das Britas Nº 1, Nº2 e Nº3	142
4.2.	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	143
4.2.1.	CONCRETO FRESCO	143
4.2.1.1.	Ensaio de Abatimento no Tronco Cônico (Slumptest)	143
4.2.1.2.	Massa Específica do Concreto Fresco	144
4.2.1.3.	Consumo do Cimento	145
4.2.2.	CONCRETO ENDURECIDO.....	146
4.2.2.1.	Absorção de água, Índice de vazios e Densidade	146
4.2.2.2.	Resistência à compressão	153
4.2.3.	ANÁLISE DOS DADOS.....	163
4.2.3.1.	Análise do fck – concreto sem vidro moído (B1, B2 e B7).....	164
4.2.3.2.	Análise do fck – concreto com 5% de vidro moído (B3 e B8).....	169
4.2.3.3.	Análise do fck – concreto com 10% de vidro moído (B4 e B9).....	173

4.2.3.4.	Análise do fck – concreto com 15% de vidro moído (B5 e B10).....	176
4.2.3.5.	Análise do fck – concreto com 20% de vidro moído (B6 e B11).....	180
4.2.3.6.	Diagrama de dosagem do IBRACON	183
4.2.3.7.	Análise do fck – séries das betonadas – 1 Série x 2ª Série.....	184
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	190
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	195
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196
	APÊNDICES	202
	APÊNDICES - AGREGADOS MIÚDOS	203
	APÊNDICES - AGREGADOS GRAÚDOS.....	245
	APÊNDICES - CONCRETOS	252

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

O estado do Acre possui uma grande problemática na elaboração de concreto com materiais que respeitem as recomendações granulométricas adequadas da ABNT NBR 7211. Isso ocorre devido a um conjunto de condições geomorfológicas e localização geográfica que prejudica a extração e transportes dos materiais adequados na região.

Segundo Lani et al. (2012), o Estado do Acre localiza-se sobre uma vasta bacia sedimentar contínua, que ocupa grande parte da região amazônica ocidental. Com isso o estado não possui reservas de rochas adequadas a elaboração de concretos, no entorno da capital Rio Branco. Assim, o material britado utilizado no estado, vem do estado vizinho Rondônia, logo, necessita-se comprar o material e ainda o transportar (Material + Frete), o que onera ainda mais a elaboração do concreto. Já o agregado miúdo (areia) utilizado nas regionais do alto e baixo acre são extraídos por dragagem do leito do rio Acre, este é um material que não se enquadra na granulometria recomendada pela ABNT NBR 7211.

Apenas esses motivos já seriam suficientes, como explicações, para através de um estudo se buscar novos materiais para elaboração de concreto estrutural, podendo serem citados como exemplos: emprego de argila calcinada ou resíduos da construção, envolvendo ainda mais a questão ambiental e reciclagem de materiais.

Segundo a ANCAT (2021) o Acre possui apenas 21 catadores de material reciclável e uma associação de catadores. Pensando na questão ambiental se verificou que o Acre ainda não dispõe de um plano de reciclagem adequado para o resíduo de vidro, assim, os resíduos de vidro são utilizados apenas em pequenos artesanatos, o restante despejado nos aterros do estado, junto ao lixo comum. Além disso, o Acre não faz o acompanhamento do volume de resíduo de vidro que chegam nos aterros, pois não existem a separação dos materiais.

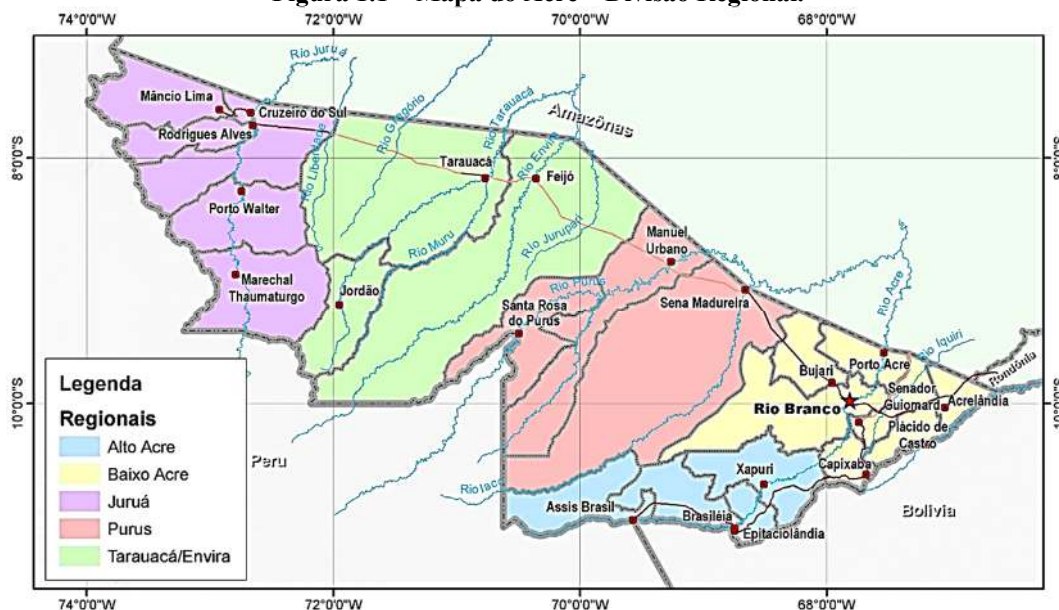
Assim, se utilizou das informações citadas, para se pensar e planejar um estudo utilizando o resíduo de vidro, após se beneficiado, moído na granulometria adequada, como um possível agregado miúdo a ser misturado juntos ao concreto convencional acreano e assim, verificar possíveis melhorias nas propriedades mecânicas do concreto.

1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo se delimitará na tentativa de elaboração de um concreto estrutural utilizando os seguintes materiais: areia do rio acre (agregado miúdo), sucata de vidro (agregado miúdo), agregados britados vendidos no comercio local (agregado graúdo) e cimento também do comércio local (aglomerante).

Porque se restringir o estudo baseando-se na areia do rio acre? Isto ocorre devido a Capital Rio Branco ter concentrado a maior parte da população acreana, segundo o Censo do IBGE de 2010, 336.038,00 habitantes, já que o estado possui, ainda conforme o IBGE, 733.559,00 habitantes, é correto afirmar que são mais de 45% da população acreana em sua capital. O estado é ainda dividido em 5 regionais, são elas: regional do Alto Acre, do Baixo Acre, do Juruá, do Purus e Regional Tarauacá/Envira, conforme Figura 1.1.

Figura 1.1 – Mapa do Acre – Divisão Regional.



Fonte: O Acre em números (ACRE, 2009).

Se for levado em consideração as regionais do alto e baixo acre, que possuem os municípios: Assis Brasil, Brasiléia, Epitaciolândia, Xapuri (alto acre), Acrelândia, Bujari, Capixaba, Plácido de Castro, Porto Acre, Rio Branco e Senador Guiomard (baixo acre), e que são fortemente influenciados pela extração de areia do Rio Acre, a população somada nessas regionais é de 476.774,00 habitantes, assim o percentual salta para aproximadamente 65% da população acreana concentrada nestas regionais, ainda segundo o Censo de 2010. Por este motivo o estudo se concentrará na utilização da mistura de areia do rio acre e vidro moído como

os agregados miúdos, na tentativa de elaboração de um concreto estrutural que se enquadre na zona utilizável granulométrica da ABNT NBR 7211 e ABNT NBR NM 248.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Geral

Avaliar um concreto estrutural (25MPa) com cimento e brita comerciais; areia do rio acre (agregado miúdo) com substituição parcial por vidro moído (vidro moído), nas proporções 5%, 10%, 15% e 20%, bem como o mesmo sem substituição.

1.3.2. Específico

- Comparar os preços oficiais dos insumos do concreto estrutural praticados no Acre, Brasília, Pará, Rondônia, e São Paulo.
- Verificar a possibilidade de melhora na granulometria da areia do rio acre associada ao vidro moído.
- Analisar as propriedades mecânicas do concreto estrutural (25MPa) acreano com e sem a substituição parcial da areia por vidro moído.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com a finalidade proporcionar uma melhor clareza na leitura, o trabalho foi dividido em 3 (três) etapas.

A primeira etapa consistiu em ampla revisão bibliográfica através de pesquisas em livros, artigos, monografias, dissertações, teses, material eletrônico e outros documentos com informações pertinentes ao tema. Nesta etapa tratou-se do concreto, resíduo de vidro, vidro moído como agregado miúdo, as particularidades do Estado do Acre bem como os materiais utilizados neste e os ensaios a serem empregados no estudo.

A segunda etapa do estudo trata da parte experimental do mesmo. Definindo-se os materiais que serão utilizados bem como quais os ensaios a serem empregados. Pode-se apontar que os ensaios serão empregados para: o cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, argamassa e concreto em estado fresco e argamassa e concreto em estado rígido.

A terceira etapa consiste na apresentação, análise e discussão dos resultados com relação aos ensaios técnicos das amostras dos materiais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICAS

2.1. O CONCRETO

De acordo com Neville e Brooks:

O concreto, no sentido mais amplo, é qualquer produto ou massa produzido a partir do uso de um meio cimentante. Geralmente esse meio é o produto da reação entre um cimento hidráulico e água, mas atualmente mesmo essa definição pode cobrir uma larga gama de produtos. O concreto pode ser produzido com vários tipos de cimento e também conter pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. (Neville & Brooks, Tecnologia do Concreto, 2013)

Segundo de Lima, Barboza e Gomes (2003) atualmente:

o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade. Isso se deve a diversos fatores, dentre os quais: facilidade e disponibilidade de encontrar os materiais que o compõe, custo relativamente baixo, facilidade de execução, adaptação a praticamente todo tipo de forma e tamanho, excelente resistência à água e a diversas ações e, mais recentemente, dentro de uma visão de sustentabilidade das construções o concreto se apresenta como um material “ecologicamente correto”. (de Lima, Barboza, & Gomes, 2003)

De acordo com a ABNT NBR 12655 (2015); o concreto de cimento portland é:

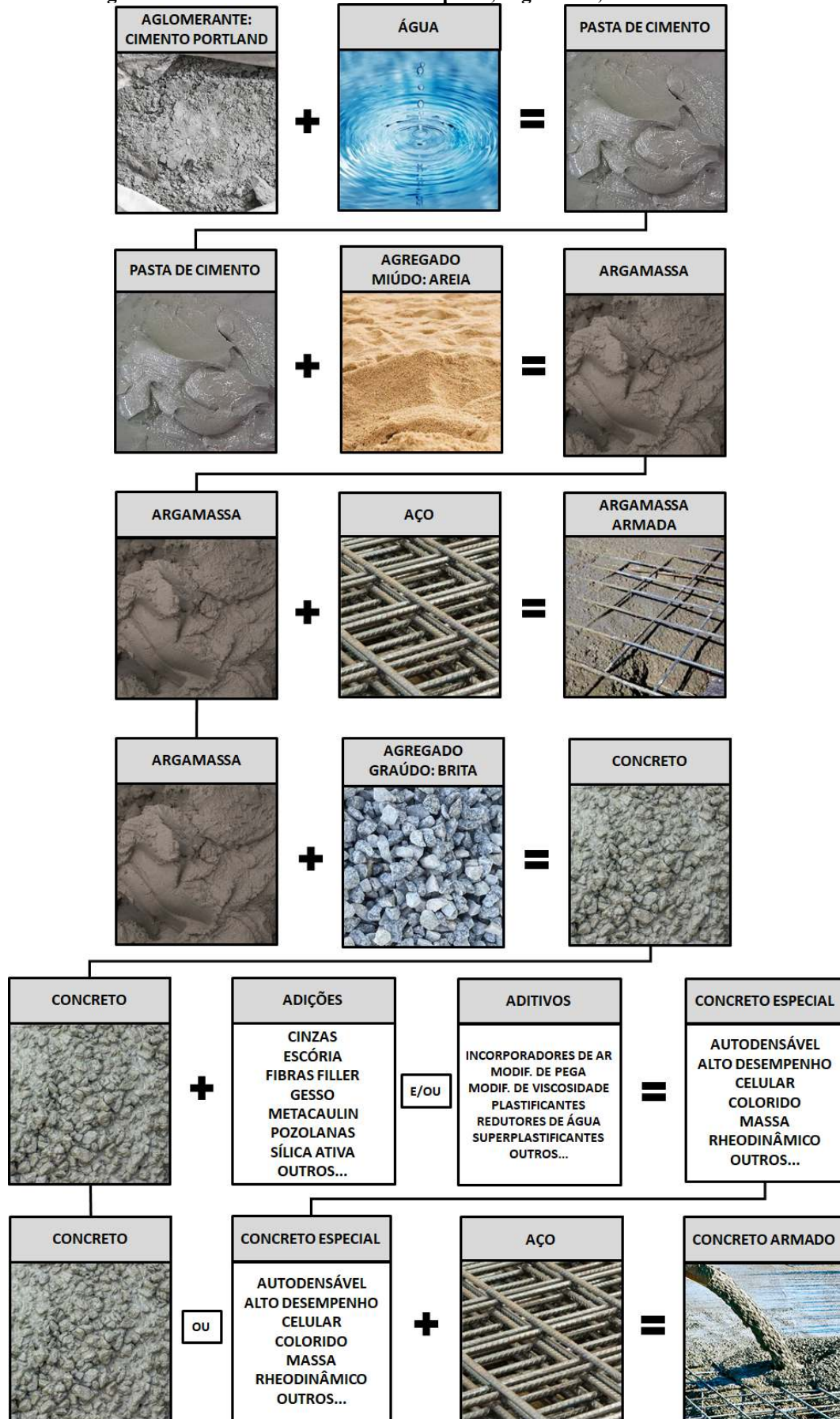
Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregado miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). Para efeitos desta Norma, o termo “concreto” se refere sempre a “concreto de cimento Portland”.

2.1.1. Composição do Concreto

O concreto é um material amplamente utilizado para construção. O mesmo é descrito comumente como a mistura de pelo menos um aglomerante (na maioria das vezes cimento portland), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e água, a mistura tecnicamente correta desses elementos gera como resultado um novo material, isotrópico e de elevada resistência, principalmente relacionado à compressão axial, podendo ser adicionados adições e aditivos para conferirem propriedades melhores.

Ao se associar o concreto e o aço, se obtém o concreto armado, a Figura 2.1 apresenta o esquema técnico das misturas dos materiais e os produtos resultantes.

Figura 2.1 – Materias constituintes das pasta, argamassa, concreto e outros.



Fonte: Própria (2019).

2.1.1.1. Os Aglomerantes

O que são aglomerantes?

Os aglomerantes, aglutinantes ou ligantes são definidos como produtos empregados na construção civil para fixar ou aglomerar outros materiais entre si. Geralmente são materiais em forma de pó fino, também chamados de pulverulentos que, misturados com a água, formam uma pasta capaz de endurecer por simples secagem ou devido à ocorrência de reações químicas.

No Brasil a ABNT NBR 11.172 define os aglomerantes conforme o Quadro 2.1.

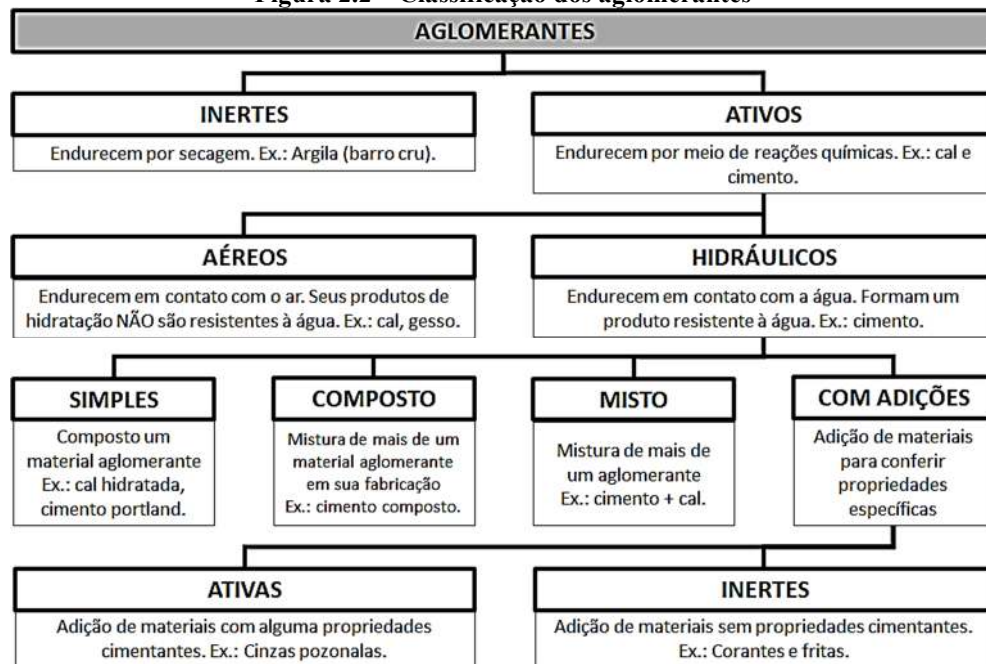
Quadro 2.1 – Definições de aglomerantes conforme.

ITEM	DEFINIÇÕES	DESCRIÇÃO
01	Aglomerante de origem mineral	Produto com constituintes minerais que, para sua aplicação, se apresenta sob forma pulverulenta e que na presença da água forma uma pasta com propriedades aglutinantes.
02	Aglomerante hidráulico	Aglomerante cuja pasta apresenta a propriedade de endurecer apenas pela reação com a água e que, após seu endurecimento, resiste satisfatoriamente quando submetida à ação da água.
03	Aglomerante aéreo	Aglomerante cuja pasta apresenta a propriedade de endurecer por reações de hidratação ou pela ação química do anidrido carbônico (CO ₂) presente na atmosfera e que, após seu endurecimento, não resiste satisfatoriamente quando submetida à ação da água.
04	Clínquer	Produto granulado resultante da queima até fusão parcial ou completa de constituintes minerais, e que após sua moagem se constitui em um produto com propriedades hidráulicas.
05	Cimento	Aglomerante hidráulico constituído em sua maior parte de silicatos e/ou aluminatos de cálcio.
06	Cimento Portland	Aglomerante hidráulico artificial, obtido pela moagem de clínquer Portland, sendo geralmente feita a adição de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.
07	Gesso	Aglomerante aéreo obtido usualmente pela calcinação moderada da gipsita (sulfato de ácido diidratado) resultando em sulfatos de cálcio hemi-hidratados (hemidratos).
08	Cal	Aglomerante cujo constituinte principal é o óxido de cálcio ou óxido de cálcio em presença natural com o óxido de magnésio, hidratados ou não.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 11172 (1990).

Os aglomerantes são basicamente classificados de três maneiras: quanto ao princípio de endurecimento, quando a composição e quando ao tempo de pega (esta última descrita mais a frente). A Figura 2.2 apresenta as duas primeiras.

Figura 2.2 – Classificação dos aglomerantes



Fonte: Própria (2019)

A. Cimento Portland

No presente estudo será utilizado apenas o cimento portland, portanto, apenas este será conceituado com maior ênfase. Os tipos de cimentos portland comercializados no Brasil, são padronizados pela ABNT NBR 16.697. A Figura 2.3 apresenta as especificações que devem constar nos sacos de cimentos Portland comercializados no Brasil.

Figura 2.3 – Designação Técnica nos Sacos de Cimento Portland.



Fonte: Adaptado de Cimento Nacional (2019).

A Tabela 2.1 apresenta os cimentos portland comercializados no Brasil, com as características quanto ao tipo de cimento, subtipo, sigla, classe de resistência e percentagem de conteúdo.

Tabela 2.1 – Tipos de cimentos portland comercializados no Brasil.							
DESIGNAÇÃO NORMALIZADA				CONTEÚDO (%)			
Tipo	Subtipo	Sigla	Classe de Resistência	Clinker + Sulfatos de Cálcio	Escória Granulada de Alto-Forno	Material Pozolânico	Material Carbonático (Filler)
Comum	Sem Adição	CP I	25 32 40	95-100	0-5		
	Com Adição	CP I S		90-94	0	0	6-10
Composto	Com escória de alto forno	CP II E		51-94	6-34	0	0-15
	Com material pozolânico	CP II Z		71-94	0	6-14	0-15
	Com material carbonático	CP II F		75-89	0	0	11-25
	Alto-Forno	CP III		25-65	35-75	0	0-10
Pozolânico		CP IV		45-85	0	15-50	0-10
Alta Resistência Inicial		CP V	ARI	90-100	0	0	0-10
Sufixos*	Resistente aos Sulfatos	RS	25	*A composição depende do tipo original do qual é derivado			
	Baixo Calor de Hidratação	BC	32				
Branco	Estrutural	CP B	40	75-100	-	-	0-25
	Não Estrutural	CP B	-	50-74	-	-	26-50
Para Poços Petrolíferos		CPP	A a J	-			
							9.831

Fonte: Adaptado de BAUER, 2019, p. 93.

Os cimentos portland amplamente encontrados no estado Acre são os tipos CP II Z 32 e CP IV 32, dos fabricantes CIPLAN e ITAÚ, respectivamente (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Cimento Ciplan e Cimento Itaú.



(a) CP II Z 32

(b) CP IV 32

Fonte: disponível em < <https://www.nsaserralhaeriaemateriaisparaconstrucao.com/cimentos-> >.

Acesso em: 20 nov. 2019.

2.1.1.2. Os Agregados

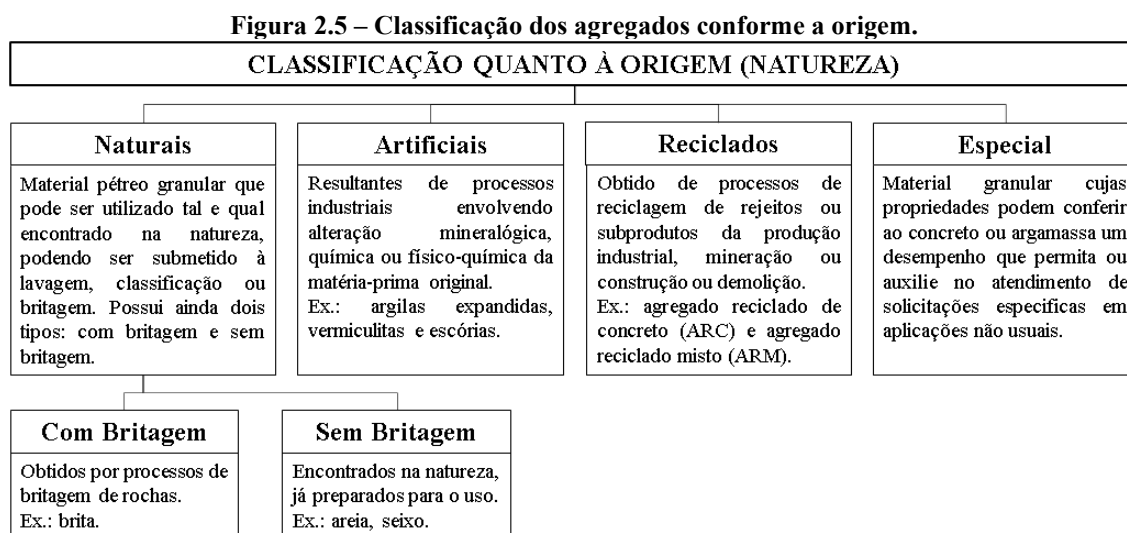
Segundo a ANBT NBR 9935, agregado é o “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto”. Os agregados em proporção são os materiais que mais preenchem espaço dentre os componentes do concreto.

Segundo Neville & Brooks (2013), “Aproximadamente 3/4 do volume de concreto são ocupados pelos agregados, então é de se esperar que sua qualidade seja de grande importância. Os agregados não só limitam a resistência do concreto, como também suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto”.

Ainda seguindo Neville & Brooks (2013) os agregados eram tidos como materiais inertes, entretanto, já se sabe que eles não são tão inertes, já que suas propriedades físicas, térmicas e as vezes químicas influenciam no desempenho do concreto. Também, entende-se como vantajosa composição de concreto com maior teor de agregados e menor quantidade de cimento, porém deve-se contrabalancear a relação custo/benefício, com as propriedades desejadas do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Logo, percebe-se que os agregados possuem duas finalidades principais, que seriam:

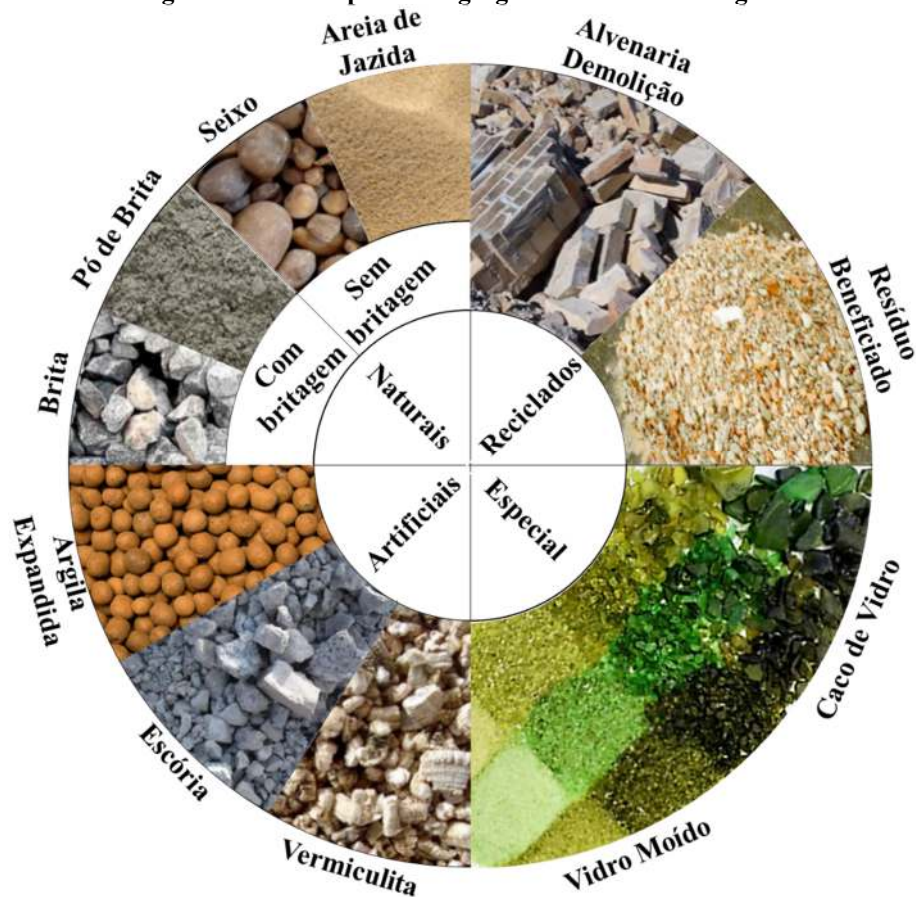
- 1. Econômicas:** Reduzir o consumo de aglomerantes de custos mais elevados.
- 2. Técnicas:** Aumentar a resistência das argamassas e concreto diminuindo a retração (diminuição do volume).

A ABNT NBR 9935 define os agregados, levando em consideração sua natureza em: naturais, artificiais, reciclados e especiais, conforme a Figura 2.5, já a Figura 2.6 apresenta alguns exemplos dos agregados conforme a origem.



Fonte: Adaptado de NBR 9935 (2011).

Figura 2.6 – Exemplos dos agregados conforme a origem.



Fonte: Própria.

A. Propriedades dos Agregados

Os agregados ainda possuem inúmeras propriedades que podem influenciar nos resultados finais de um concreto de boa qualidade. Como propriedades mais influentes do concreto podem ser citadas: granulometria, a densidade, a absorção d'água, a massa unitária, o índice de vazios; forma, textura e arranjo das partículas, a umidade e inchamento; e a resistência. A Quadro 2.2 apresenta algumas normas brasileiras, utilizadas para determinação das propriedades dos agregados.

Quadro 2.2 – Principais normas referentes as propriedades dos agregados.

PROPRIEDADES	NORMAS
Granulometria	ABNT NBR 7211:2009 versão corrigida 2019 – Agregados para concreto – Especificação ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados – Determinação da composição granulométrica
Densidade e absorção d'água	ABNT NBR 16916 – Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. ABNT NBR 16917 – Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água.
Massa unitária e índice de vazios	ABNT NBR 16972 – Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios
Forma, textura e arranjo das partículas	ABNT NBR 7809:2019 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio.
Umidade e Inchamento	ABNT NBR 6467:2006 – Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – método de ensaio.

Fonte: Própria.

Neville (2016) apresenta a Tabela 2.2 com valores de várias resistências à compressão de rochas comumente utilizadas como agregados para concreto nos Estados Unidos.

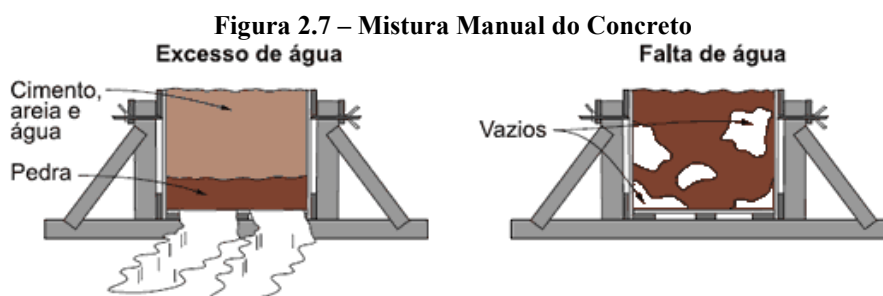
Tabela 2.2 – Resistências à compressão de rochas para agregados de concreto nos E.U.A.

TIPO DE ROCHA	NÚMERO DE AMOSTRAS	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (fck)		
		MÉDIA (MPa)	APÓS A EXCLUSÃO DE VALORES EXTREMOS	
			MÁXIMO (MPa)	MÍNIMO (MPa)
Granito	278	181	257	114
Felsito	12	324	526	120
Basalto	59	283	377	201
Calcário	241	159	241	93
Arenito	79	131	240	44
Mármore	34	117	244	51
Quartzito	26	252	423	124
Gnaisse	36	147	235	94
Xisto	31	170	297	91

Fonte: Neville (2016).

2.1.1.3. A Água para o concreto

Vale a pena lembrar, a importância de se utilizar a quantidade de água correta para a mistura do concreto, visto que, tanto o excesso quanto a falta são prejudiciais ao mesmo. O excesso de água diminui a resistência do concreto, já a falta de água ocasiona o aparecimento de vazios no concreto. A Figura 2.7 ilustra os problemas citados.



Fonte: Cimento.org. Disponível em: < <https://cimento.org/concreto-misturado-a-mao/> >. Acesso em 12 de out de 2019.

A norma ABNT NBR 15900 trata exclusivamente da qualidade da água de amassamento para a elaboração de concreto, já o Quadro 2.3 apresenta a classificação dos tipos de água descritos por esta norma em sua parte 1.

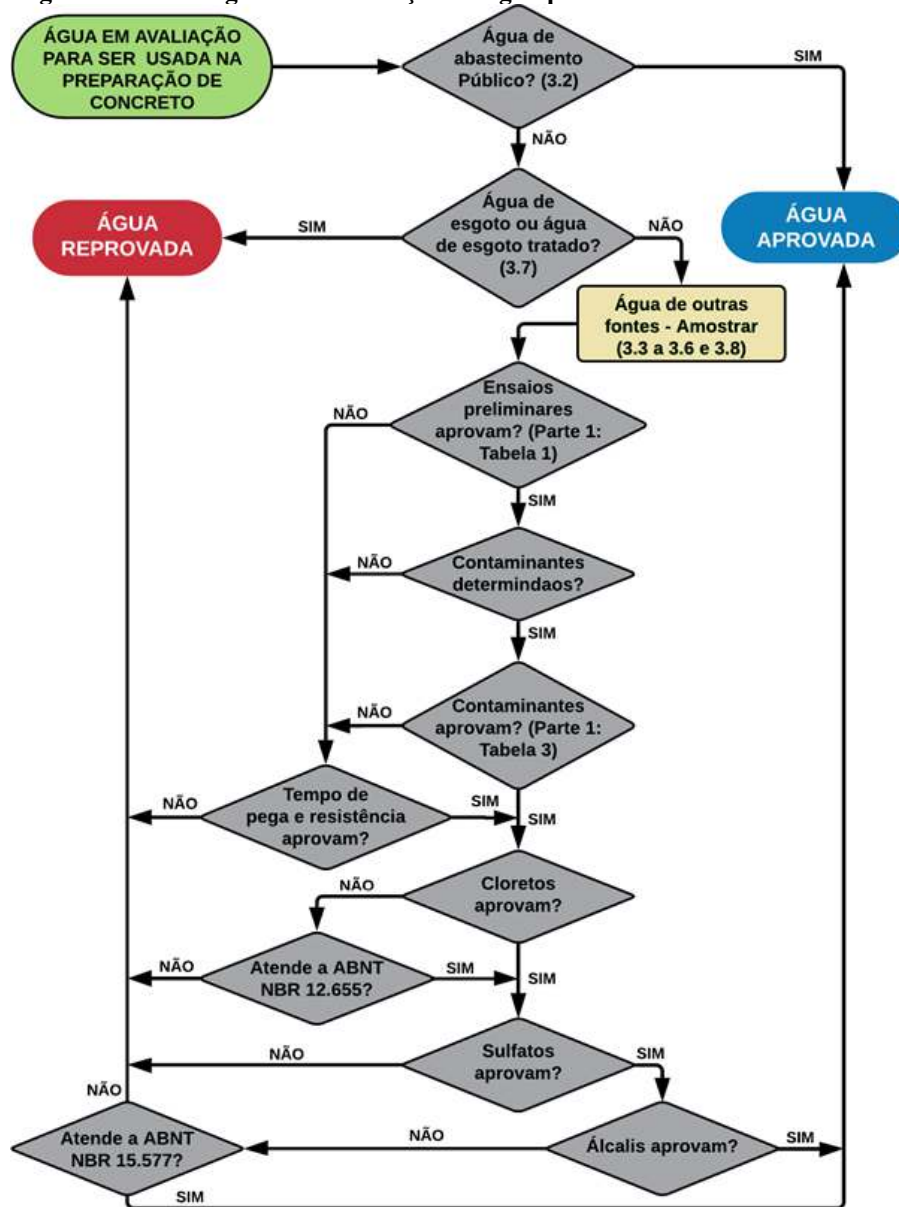
Quadro 2.3 – Classificação dos tipos de água.

TIPOS DE ÁGUA	ITEM	DESCRIÇÃO
Água potável	3.1	Água própria para o consumo humano que atende à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, pode ser utilizada sem restrição para a preparação de concreto.
Água de abastecimento público	3.2	Esta água é considerada adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada.
Água recuperada de processos de preparação do concreto	3.3 e A.2.1	Água usada para limpar a parte interna de betoneiras de centrais misturadoras, de caminhões betoneiras, misturadores e bombas de concreto ou água proveniente do processo de recuperação de agregados de concreto fresco.
Água combinada	A.2.2	Mistura da água recuperada de processos de preparação do concreto com água de alguma outra origem.
Água de fontes subterrâneas	3.4	Esta água pode ser adequada para uso em concreto, mas deve ser ensaiada.
Água natural de superfície, água de captação pluvial e água residual industrial	3.5	Esta água pode ser adequada para uso em concreto, mas deve ser ensaiada. São exemplos de águas residuais industriais aquelas recuperadas de processos de resfriamentos, jateamento, corte, fresagem e polimento de concretos.
Água salobra	3.6	Esta água somente pode ser usada para concreto não armado, mas deve ser ensaiada. Não é adequada à preparação de concreto protendido ou armado.
Água de esgoto e água proveniente de esgoto tratado	3.7	Esta água não é adequada para uso em concreto.
Água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto	3.8	<p>Água de reuso é a água tratada por diversos processos, como filtração e flotação, em estações de tratamento de esgotos, a partir do afluente já tratado para usos não potáveis.</p> <p>Até o momento de publicação desta Norma não havia antecedentes suficientes para garantir viabilidade de uso generalizado deste tipo de água.</p> <p>O uso deste tipo de água está condicionado a aplicações específicas em comum acordo entre o fornecedor de água e o responsável pela preparação do concreto, devendo ser atendidos todos os requisitos desta Norma.</p>
Gelo	3.2 a 3.8	O uso de gelo deve ser analisado em função de sua origem

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15900-1 (2009)

A norma apresenta, ainda, na Figura 2.8 um fluxograma que avalia a água a ser utilizada e auxilia os profissionais sobre sua aceitação.

Figura 2.8 – Fluxograma de aceitação da água para amassamento do concreto.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15900-1 (2009)

2.1.1.4. Outros Componentes Do Concreto

Existem ainda um componente que faz parte do concreto convencional, contudo, é pouco comentado, este é o ar incorporado. Isso ocorre porque sempre se tenta elimina-lo do concreto convencional, visto que, este diminui a densidade do concreto e aumenta a porosidade. Porém, existem concretos especiais que se utilizam do ar incorporado para acrescentar propriedades específicas ao concreto.

Há também as adições e aditivos que podem ser acrescidos aos concretos, com a finalidade de melhorar suas propriedades, transformando o concreto convencional em concreto especial. Mas como diferencia-los?

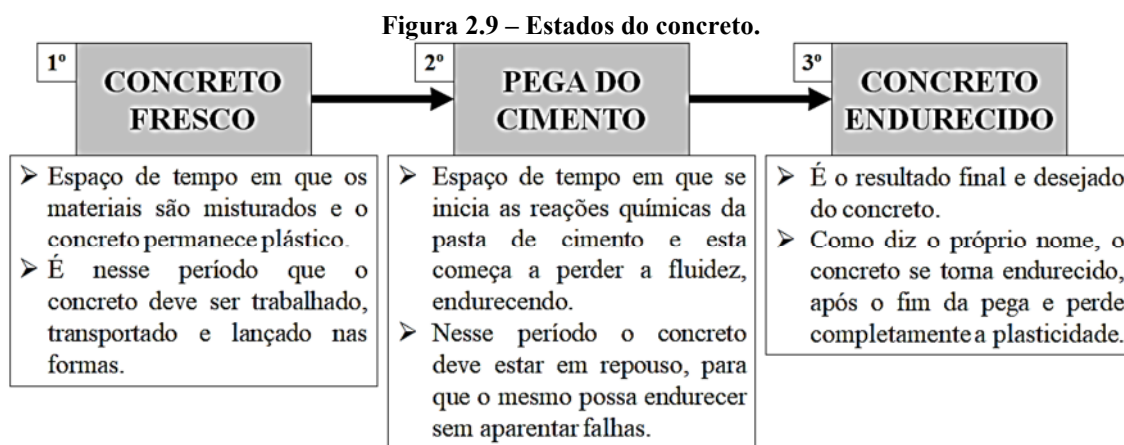
Subconscientemente pode-se entender que, adições são materiais em estado sólido, muitas vezes em pó e aditivos são materiais líquidos. Mas tomando como referência o órgão máximo da normalização brasileiro o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), que através da ABNT, produz as normas brasileiras, NBR, o correto é buscar as definições destes.

2.1.1.5. Estados do Concreto (*Fresco, Pega e Endurecido*)

O concreto possui dois estados de trabalho, que são: **concreto em estado fresco**, ou simplesmente, **concreto fresco** e **concreto em estado endurecido**, ou simplesmente, **concreto endurecido**. A ABNT NBR 12655 traz as definições:

1. **concreto fresco:** concreto que está completamente misturado e que ainda se encontra em estado plástico, capaz de ser adensado por um método escolhido
2. **concreto endurecido:** concreto que se encontra no estado sólido e que desenvolveu resistência mecânica

Porém, também vale a pena destacar o período em que o concreto ainda está plástico, mas não deve sofrer interferências, pois, pode prejudicar o seu resultado final no concreto endurecido. Este período é o processo de pega, ou simplesmente pega do cimento, a Figura 2.9 apresenta a explicação dos estados e mostra a ordem em que os mesmos acontecem.



Fonte: Própria (2019).

Logo, entende-se:

- A) Concreto fresco** é assim considerado, quando os componentes são misturados até o momento em que se tem início a pega do cimento.

B) Concreto endurecido é o material que se obtém pela mistura dos componentes, após o fim da pega do aglomerante.

É de suma importância conhecer estes, pois cada uma apresentam propriedades diferentes, importantíssimas, para o trabalho com o concreto.

2.1.2. Tipos do Concreto

Na engenharia civil é constante a busca por evolução dos materiais. Com o concreto não é diferente, seja por aperfeiçoamento de técnicas, aprimoramento de equipamentos ou o desenvolvimento de novos materiais.

Com isso, além do concreto convencional, “diferentes tipos de concreto foram desenvolvidos para usos especiais. Em geral, a matriz cimentícia é modificada de maneira a melhorar algumas propriedades específicas. Alguns desses concretos são inovações recentes” (Neville & Brooks, 2013).

O Quadro 2.4 apresenta os principais tipos de concreto, suas aplicações mais comuns e respectivas características.

Quadro 2.4 – Principais tipos de concretos.

CONCRETO	APLICAÇÕES COMUNS E VANTAGENS
Concreto convencional	Obras civis, industriais e em peças pré-moldadas. Aumento da durabilidade e qualidade final da obra, redução dos custos da obra e redução no tempo de execução.
Concreto Não Estrutural	Conforme as NBR 6118 e NBR 12655 concreto não estrutural é o concreto com resistência característica a compressão menor que 20 MPa, logo o estrutural teria fck maior que 20MPa.
Concreto de Alto Desempenho	Obras civis especiais, hidráulicas em geral e em recuperações. Aumento da durabilidade e vida útil das obras; redução dos custos da obra e melhor aproveitamento das áreas disponíveis para construção.
Concreto de Alta Resistência Inicial	Indústrias de pré-moldados, em estruturas convencionais ou protendidas, na fabricação de tubos e artefatos de concreto, entre outras. Aumento na velocidade das obras, o que pode gerar a redução dos custos com funcionários, com alugueis de formas, equipamentos e diversos outros ganhos de produtividade.
Concreto Leve Estrutural	Atender exigências específicas de algumas obras e também para enchimento de lajes, fabricação de blocos, regularização de superfícies, envelopamento de tubulações, entre outras. Reduzido peso específico e elevada capacidade de isolamento térmico e acústico.
Concreto Leve	Enchimento e regularização de lajes, pisos e elementos de vedação. Redução de peso próprio e isolante termo acústico.
Concreto Auto adensável	Fundações especiais tipo hélice contínua e paredes diafragma; peças delgadas e peças densamente armadas. Maior durabilidade e fácil aplicação. Dispensa a utilização total ou parcial de vibradores; redução dos custos com mão de obra e energia e maior produtividade no lançamento.
Concreto com adição de fibras	Obras civis especiais, pisos industriais e pistas de aeroportos Aumenta a durabilidade das obras quanto à abrasão e desgaste superficial; melhora a resistência à tração do concreto.
Concreto Impermeável	Obras hidráulicas em geral, estações de tratamento d'água e esgoto e Barragens. Aumento da durabilidade da obra e redução dos custos de manutenção da obra.

Fonte: Adaptado de Redimix apud L. A. SILVA (2018).

A engenheira civil L. A. SILVA (2018) informa que “a classificação de um tipo de concreto tende a ser feita em função de sua aplicação ou finalidade e a partir da resistência mecânica”. De forma simples a mesma divide os concretos e dois tipos:

- A) Concreto comum, convencional ou simples:** mistura dos principais componentes do concreto, Cimento + Água + Agregado Miúdo (areia) + Agregado Graúdo (brita), cuja resistência à compressão é obtida com o controle da relação água/cimento, sendo dispensável o emprego de aditivos especiais ou de adições ativas.
- B) Concretos especiais:** neste há o emprego de materiais particulares, como, aditivos ou adições indispensáveis para a obtenção da resistência e demais características desejadas em projetos mais específicos.

2.1.2.1. Propriedades do Concreto

O concreto possui inúmeras características e propriedades que podem influenciar sua composição e seu resultado final, porém, as propriedades que serão destacadas com maior ênfase, são: trabalhabilidade, resistência a compressão, massa específica e durabilidade

A. Trabalhabilidade

É uma das propriedades do concreto fresco. A definição de trabalhabilidade seriam as características e condições que o concreto possui para ser adequadamente misturado, transportado, lançado e adensado de uma maneira fácil e sem perda de homogeneidade, para se obter um concreto com um mínimo de vazios.

Neville & Brooks (2013) descrevem a trabalhabilidade da seguinte maneira:

Rigorosamente falando, a trabalhabilidade pode ser definida como a quantidade de trabalho interno útil necessário à obtenção do adensamento total. O trabalho interno útil é uma propriedade física inerente do concreto e é o trabalho ou energia exigido para vencer o atrito interno entre as partículas individuais do concreto. Entretanto, na prática é necessária energia adicional para vencer o atrito superficial entre o concreto e as formas ou as armaduras. Também é desperdiçada energia pela vibração das formas e pela vibração de concreto já adensado. Portanto, na prática é difícil medir a trabalhabilidade conforme a definição e o que se avalia é a trabalhabilidade resultante do método específico adotado. (NEVILLE & BROOKS, 2013, p. 97)

Já Bauer (2019) descreva a trabalhabilidade da seguinte maneira:

Quando as argamassas [...], misturadas com agregado graúdo, apresentam características (consistência e diâmetro máximo do agregado) adequadas ao tipo da obra a que se destinam (dimensões das peças, afastamento e distribuição das barras

das armaduras) e aos métodos de lançamento, de adensamento e de acabamento, que serão adotados, diz-se que elas são trabalháveis. (BAUER, 2019, p. 289)

Vários fatores podem influenciar a trabalhabilidade. Segundo Effting (2015) esses fatores podem ser internos e externos, ou seja, fatores internos ligados a composição do concreto e fatores externos ligados a manipulação do concreto. O Quadro 2.5 apresenta, resumidamente, os principais fatores que podem influenciar a trabalhabilidade.

Quadro 2.5 - Fatores que influenciam a trabalhabilidade.

FATORES INTERNOS	FATORES EXTERNOS
Consistência: relação água/materiais secos.	Tipo de mistura: manual ou mecânica.
Traço: proporção cimento/agregados.	Tipo de transporte: caçambas, bombas, calhas.
Granulometria: proporção agregado miúdo/agregado graúdo.	Tipo de lançamento: pequenas ou grandes alturas, pás, calhas.
Forma dos grãos: forma angulosa ou arredondada.	Tipo de adensamento: manual, vibratório, etc.
Aditivos plastificantes: reduzem a quantidade de água e melhoram a consistência.	Dimensões: das peças a executar e das armaduras

Fonte: Adaptado de Effting (2015).

Resumidamente, se pode definir a trabalhabilidade como a propriedade que determina o esforço necessário para manipular (transportar, lançar, adensar e dar acabamento) uma quantidade de concreto fresco com uma perda mínima de homogeneidade, para se obter um concreto com um mínimo de vazios.

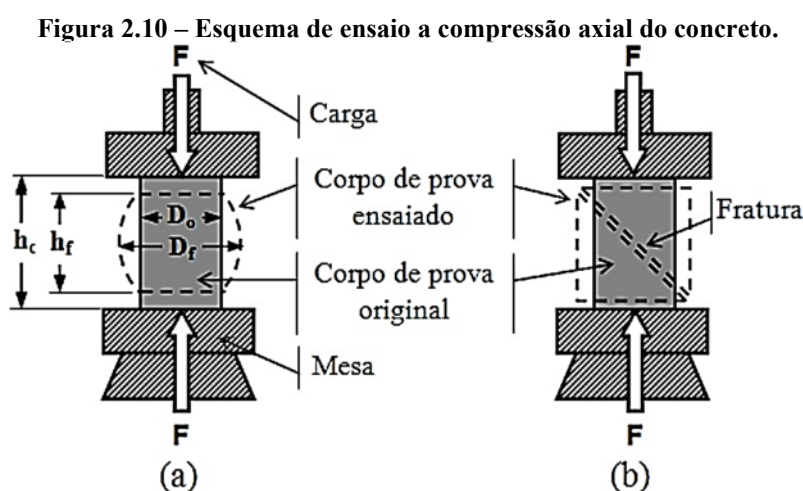
No Brasil, os métodos normalizados para medir a trabalhabilidade, estão relacionados a consistência do concreto, conforme:

- ABNT NBR 16889:2020 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*).
- ABNT NBR 15823-2:2017 - Concreto autoadensável - Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams (*slump flow*).
- ABNT NBR 14278:2012 - Concreto projetado - Determinação da consistência através da agulha de Proctor.

B. Resistência a Compressão

É uma das propriedades do concreto endurecido e talvez a de maior destaque. O concreto é conhecido pela sua elevada resistência a compressão axial, fazendo contraponto com a resistência a tração, que é tão baixa a ponto de ser considerada desprezível em dimensionamentos.

No Brasil, para a realização do ensaio de resistência à compressão, utiliza moldes para corpos de prova (CP) cilíndricos ou prismáticos, conforme a especificado pela ABNT NBR 5738. Após a cura do concreto em idades de 7 e 28 dias, a partir da moldagem, os CP's são submetidos a tensão em uma prensa, conforme a ABNT NBR 5739. A estimativa da resistência média à compressão, correspondente a uma resistência característica (f_{ck}) especificada e deve ser feita como indicado na ABNT NBR 12655. Os CP's são comprimidos em uma prensa, onde será analisado a relação entre força aplicada pela área do CP, a Figura 2.10 apresenta um esquema do ensaio, já a Figura 2.11 apresenta um exemplo de CP rompido.



Fonte: Biopdi.

Disponível em: < <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-compressao> >. Acesso em: 12 dez. 2019.



Disponível em: < https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Ensaio-de-resistencia-a-compressao-em-prensa-manual-de-100-toneladas-1-CP-de_fig4_287205341 >. Acesso em: 12 dez. 2019.

C. Massa Específica

A massa específica é o quociente entre a massa de uma amostra e o seu volume. No Brasil, a normalização brasileira disponibiliza duas normas para determinação da massa específica do concreto, a massa específica pode ser determinada para o concreto em estado fresco e/ou endurecido, conforme:

- ABNT NBR 9833:2008 Versão Corrigida:2009 – Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.
- ABNT NBR 9778:2005 Versão Corrigida 2:2009 – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

A quantidade de ar incorporado ao concreto influencia diretamente a massa específica do mesmo. Porém, não é só o volume de ar que influencia esta propriedade, podendo serem citados: tipo de adensamento, tipo de agregados, utilização de aditivos ou adições, dentre outros.

D. Durabilidade

A durabilidade é uma característica definida em função das condições a que o concreto será submetido. De acordo com Neville & Brooks (2013), “A durabilidade do concreto é uma de suas propriedades mais importantes, pois é essencial que ele seja capaz de suportar as condições para as quais foi projetado durante a vida da estrutura”.

Mais uma vez, segundo Neville & Brooks (2013),

A falta de durabilidade pode ser causada por **agentes externos** advindos do meio ou por **agentes internos** ao concreto. As causas podem ser classificadas como físicas, mecânicas e químicas. As causas físicas vêm da ação do congelamento e das diferenças entre as propriedades térmicas do agregado e da pasta de cimento, enquanto as causas mecânicas estão associadas principalmente à abrasão.

Já as causas químicas, ainda, segundo Neville & Brooks (2013) são:

ataques por sulfatos, ácidos, água do mar e cloretos, que induzem a corrosão eletroquímica da armadura. Como esses ataques ocorrem no interior da massa de concreto, o agente agressivo deve ser capaz de penetrar no concreto, que, por sua vez, tem de ser permeável.

De acordo com Neville (2016),

É essencial que cada estrutura de concreto continue a desempenhar suas funções previstas, ou seja, mantenha sua resistência necessária e sua condição de utilização

durante um tempo especificado ou uma vida útil tradicionalmente esperada. Conclui-se que o concreto deve ser capaz de suportar o processo de deterioração a que estará exposto. Esse concreto é considerado durável.

Bauer (2019) informa que,

A durabilidade dos elementos construtivos do concreto simples, armado e protendido, é condicionada pelo eventual ataque de agentes agressivos que estejam sujeitos durante a sua vida em serviço. É um conceito que deve ser entendido em termos relativos, proporcionados pelo conhecimento do comportamento desse material, sujeito à deterioração em maior ou menor grau em face de determinadas situações. Estas podem conduzir ao desenvolvimento progressivo, normalmente lento, de desordens que, em um processo contínuo, podem conduzir a uma desagregação completa da estrutura. Entretanto, tais processos destrutivos podem, quase sempre, ser interrompidos sanando-se as causas da destruição progressiva e reconduzindo a estrutura a condições de sobrevivência.

Bauer apresenta ainda os agentes agressivos mais usuais que comprometem a durabilidade do concreto, conforme o Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Classificação dos agentes agressivos.

AGENTES	CONCRETO	ARMADURA
Mecânicos	Abrasão, choques, vibração, fadiga	-
Físicos	Temperatura	-
Ecológicos e químicos	Águas puras	Oxidação
	Águas carbônicas	
	Águas sulfatadas	
	Água do mar	
	Agentes reativos	
Biológicos	Bactérias	-
Físico-químicos	-	Corrosão eletroquímica Corrosão sob tensão
Intrínsecos	Reação álcali-agregado	-

Fonte: BAUER (2019).

2.1.2.2. Classificação do Concreto

A. Classificação em função da massa específica

A ABNT NBR 8953:2015 apresenta 3 (três) faixas para classificar o concreto através da massa específica, são elas: concretos leves, normais e densos (ou pesados) como visto no Quadro 2.7.

Quadro 2.7 – Classificação do concreto através da massa específica.

CLASSIFICAÇÃO	SIGLA	MASSA ESPECÍFICA	NORMA DE ENSAIO
LEVE	CL	inferior a 2.000 kg/m ³	ABNT NBR 9778:2005 versão corrigida 2:2009
NORMAL	C	2.000 kg/m ³ e 2.800 kg/m ³	
PESADO ou DENSO	CD	superior a 2.800 kg/m ³	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8953 (2015).

É imprescindível recordar, que, a determinação da massa específica do concreto é abordada através ABNT NBR 9778. Portanto, a massa específica do concreto deve levar em consideração o material no estado endurecido.

B. Classificação em função da resistência à compressão axial

Ainda de acordo com ABNT NBR 8953, a mesma informa que:

Os concretos para fins estruturais são classificados nos grupos I e II, conforme a **resistência característica à compressão (f_{ck})**, determinada a partir do ensaio de corpos de prova moldados de acordo com a ABNT NBR 5738 e rompidos conforme a ABNT NBR 5739, como mostra a “Tabela 2.3”, sendo permitida a especificação de valores intermediários.

Os concretos com classe de resistência inferior a C20 não são estruturais e, caso sejam utilizados, devem ter seu desempenho atendido conforme ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655.

Tabela 2.3 – Classificação do concreto através da resistência característica à compressão

GRUPO	CLASSE DE RESISTÊNCIA	f_{ck}	NORMA DE ENSAIO
Concreto não estrutural	< C20	< 20MPa	ABNT NBR 6118:2014 ABNT NBR 12655:2015
Grupo I	C20	20 MPa	ABNT NBR 5738:2015 versão corrigida:2016
	C25	25 MPa	
	C30	30 MPa	
	C35	35 MPa	
	C40	40 MPa	
	C45	45 MPa	
	C50	50 MPa	
Grupo II (concreto de alta resistência)	C55	55 MPa	ABNT NBR 5739:2018
	C60	60 MPa	
	C70	70 MPa	
	C80	80 MPa	
	C90	90 MPa	
	C100	100 MPa	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8953 (2015).

É importante ressaltar que a ABNT NBR 12655 classifica como Concreto de Alta Resistência, os concretos do Grupo II da ABNT NBR 8953, ou seja, concretos com classes de resistência maior que C50. Assim, também, é possível diferenciar os concretos estruturais dos não estruturais, os concretos estruturais possuem resistência a compressão maior que 20MPa, menor que isso, são considerados concretos não estruturais.

C. Classificação em função da consistência

Segundo a ABNT NBR 8953, “Os concretos são classificados por sua consistência no estado fresco, determinada a partir do ensaio de abatimento”, também conhecido como “*slump test*”. A norma ainda informa, que, as partes envolvidas, ainda, podem criar classes que

melhor se aplicam aos seus empreendimentos, bem como, que, os exemplos da norma são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.

O concreto autoadensável, também, é classificado em função de suas propriedades no estado fresco, porém de acordo com a ABNT NBR 15823-1, este, por ser muito fluido, utiliza o ensaio de espalhamento (*slumpflow*) para tal determinação, ensaio descrito pela norma ABNT NBR 15823-2.

O Tabela 2.4 apresenta as classes de consistência para os concretos convencionais e concretos auto adensáveis, vale a pena lembrar que os concretos auto adensáveis possuem várias outras classes de acordo com a NBR 15823-1, serão apresentados no quadro apenas as mais simples.

Tabela 2.4 – Classificação do concreto através do abatimento ou espalhamento			
Classes de abatimento (<i>slump</i> test) (NBR 8953)			
CLASSE	ABATIMENTO (mm)	APLICAÇÕES TÍPICAS	NORMA DE ENSAIOS
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado	ABNT NBR 16889
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações	
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto	
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto	
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras	
Concreto Auto-adensável - Classes de espalhamento (<i>slump</i> flow) (NBR 15823)			
CLASSE	ESPALHAMENTO (mm)		NORMA DE ENSAIO
SF1	550 a 650		ABNT NBR 15823-2
SF2	660 a 750		
SF3	760 a 850		

Fonte: Adaptado de ABNT, NBR 8953 (2015) e NBR 15823 (2017).

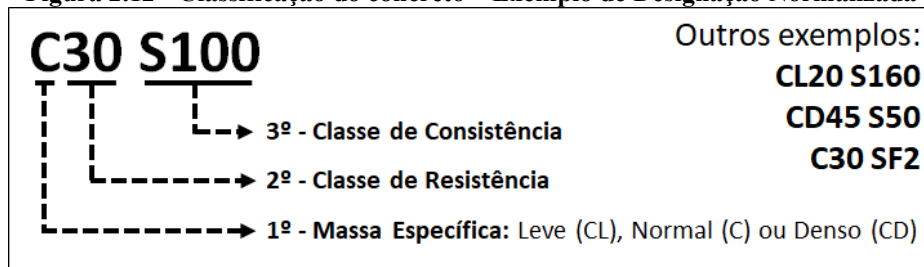
Vale a pena fazer a analogia entre os concretos secos (S10) e fluidos (S220, SF), que possuem uma trabalhabilidade ruim, se comparados aos concretos plásticos (S50 a S160). Porém os concretos fluidos possuem um melhor adensamento, pela facilidade de o concreto fluido preencher espaços.

2.1.2.3. Designação Normalizada

Segundo a ABNT NBR 8953, os concretos devem ser classificados na seguinte ordem: 1º - massa específica; 2º - classe de resistência e, por fim, 3º - classe de consistência ou de eventual classe especial de consistência, no caso de concreto autoadensável.

Tomando como exemplo, um concreto de massa específica igual a 2.200 kg/m³, resistência característica a compressão axial de 30MPa e abatimento de 120mm, este seria escrito em nomenclatura técnica, C30 S100, como pode ser visto na Figura 2.12.

Figura 2.12 - Classificação do concreto – Exemplo de Designação Normalizada



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8953 (2015)

2.1.3. Dosagem do Concreto

Em tecnologia de concreto existem vários métodos de dosagem do mesmo, o Quadro 2.8 elaborado pela empresa Cimentos Itambé e apresenta alguns métodos e suas principais considerações.

Quadro 2.8 – Alguns Métodos de Dosagem.

MÉTODO	RELAÇÃO AGREGADO GRAÚDO/MIÚDO	CONSUMO DE CIMENTO
INT	Em função de uma composição granulometria que se adapte a curvas padrão	Em função do a/c da porcentagem de água/mistura seca que depende do Diâmetro máximo e adensamento
IPT	Em função da relação areia/pedra mais adequada ao tipo concreto	Experimentalmente em função da trabalhabilidade e consistência pelo abatimento do tronco de cone
ABCP	Em função da relação da Massa Unitária Compactada e Massa Específica Real absoluta	Com auxílio da rota de igual trabalhabilidade relacionando o traço água/cimento
Vitervo O'Reilly	Em função da relação ótima da mistura de agregados < % vazios	Em função do consumo de água e relação a/c
ACI	Em função de valores obtidos experimentalmente	Em função do consumo de água e relação água/cimento
Empírico	Experimental visualizando o aspecto do concreto	Proporcional a resistência (fck) desejado, determinar os ajustes

Fonte: Cimentos Itambé. Disponível em: <

<https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1279.pdf> >. Acesso em: 12 out. 2019.

Já Helene & Terzian (1993) informa, que podem existir dosagem experimentais e dosagem não experimentais.

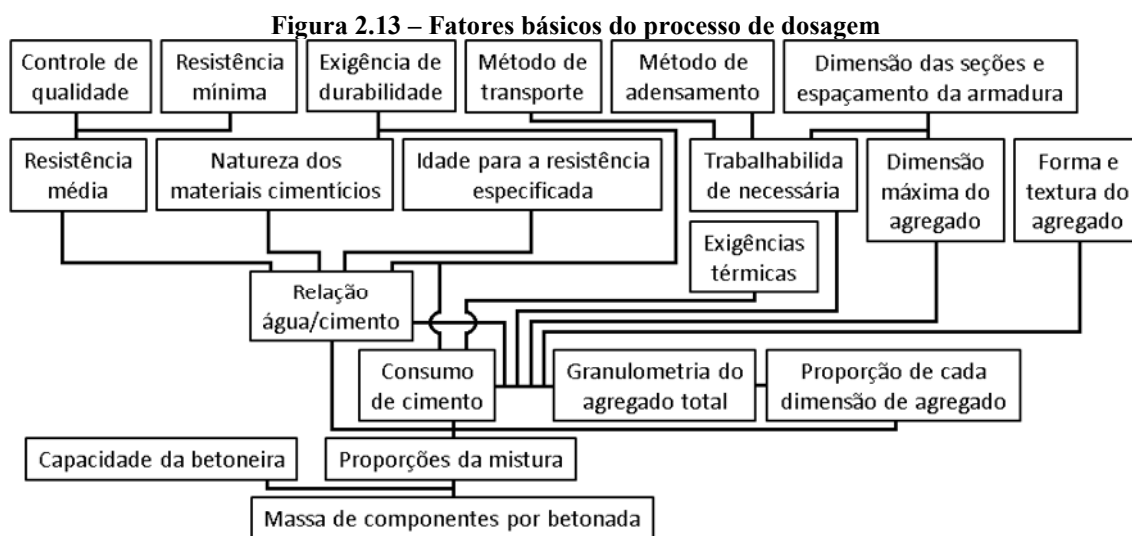
- A) Dosagem Não Experimental:** É realizada em canteiros de obras sem grandes estudos dos materiais, só deve ser permitida para obras de pequeno porte, geralmente apresentam elevado consumo de cimento e pouco ou nenhum controle sobre a quantidade de água no concreto.
- B) Dosagem Experimental:** Levam em consideração vários estudos dos materiais constituintes do concreto, tenta estabelecer um traço para o concreto, correlacionando: resistência a compressão, trabalhabilidade desejada, durabilidade

do concreto, relação água/cimento. Pode ser empregado vários métodos de inúmeros autores.

É evidente que engenheiros e profissionais da construção civil, em hipótese algum, devem permitir em obras de engenharia o emprego para concretos estruturais dosados de maneira não experimental, visto que a preocupação com o controle de qualidade, sobre estes, é inexistente se comparados com os métodos que uso dosagem experimental.

Segundo Neville (2016), considerando métodos se dosagem experimentais, informa que,

Os fatores básicos a serem considerados na dosagem estão representados esquematicamente na “Figura 2.13”. A sequência de decisões também é mostrada para a determinação das quantidades de componentes por betonada. É evidente que existem variações no método exato de determinação das proporções da mistura.



Fonte: Adaptado de NEVILLE (2016)

Já Bauer (2019),

A construção evoluiu e os requerimentos para o concreto foram mudando, o que contribuiu para o surgimento de outros tipos de concreto como os mais fluidos, chamados de autoadensáveis, os de resistências mais altas, os mais leves etc. Aliado a isso, novos materiais foram sendo incorporados ao concreto, como é o caso das adições minerais e dos aditivos.

Mesmo com a evolução dos procedimentos de dosagem, estes ainda remetem ao concreto comum. O Quadro 2.9 apresenta as principais informações necessárias para a dosagem de concretos.

Quadro 2.9 – Informações necessárias para a dosagem do concreto.

Projeto e especificações relativos a:	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS DISPONÍVEIS			Equipamentos disponíveis para preparo, transporte, lançamento etc.
	Cimento	Agregados	Água e aditivos	
Dimensões das formas	Amostragem	Amostragem	Qualidade	Capacidade
Densidade da armadura	Massa específica	Massa específica e absoluta		
Resistência ao esforço	Área específica e índice de finura	Massa unitária em estado solto		Características
		Inchamento dos agregados miúdos		
Condições de exposição	Pasta de consistência normal	Granulometria	Químico	Condições de uso
Acabamentos especiais	Tempo de pega	Massa unitária em estado compactado seco		
	Expansibilidade	Teor de argila e torrões e materiais pulverulentos		
Outros aspectos	Resistência a compressão	Abrasão Los Angeles		Quantidade
		Impureza orgânicas		
		Índice de forma		
		Potencial de reatividade		

Fonte: Adaptado de BAUER (2019)

A ABNT NBR 12655, define e seu subitem “5.4 - Medida dos materiais e do concreto” como devem serem medidos o concreto e seus os materiais constituintes.

5.4 - Medida dos materiais e do concreto

A base de medida do concreto para o estabelecimento da sua composição, da sua requisição comercial ou fixação do seu volume é o metro cúbico de concreto no estado fresco adensado.

A medida volumétrica dos agregados somente é permitida para os concretos preparados no próprio canteiro de obras, cumpridas as demais prescrições desta Norma.

Os materiais para concreto de classe C20 e não estruturais, de acordo com a ABNT NBR 8953, devem ser medidos em massa, ou em massa combinada com volume. Por massa combinada com volume, entende-se que o cimento seja sempre medido em massa e que o canteiro deva dispor de meios que permitam a confiável e prática conversão de massa para volume de agregados, levando em conta a umidade da areia. Os materiais para concreto de classe C25 e superiores, de acordo com a ABNT NBR 8953, devem ser medidos em massa.

Sílica ativa, metacaulim e outros materiais pozolânicos devem ser sempre medidos em massa.

Para concreto proporcionado em massa, deve ser atendido o disposto na ABNT NBR 7212, no que diz respeito aos equipamentos e à medida dos materiais.

Com a finalidade de simplificar a compreensão o Quadro 2.10 apresenta os métodos que devem ser utilizados para a medida do concreto e seus componentes.

Quadro 2.10 – Métodos de medida do concreto e seus componentes.

CLASSE DE RESISTÊNCIA	MÉTODOS DE MEDIDA	OBSERVAÇÕES
≤ C20 (inclusive não estruturais)	Em massa, ou em massa combinada com volume	O cimento deve ser medido em massa, o canteiro deve dispor de meios que permitam a confiável e prática conversão de massa para volume de agregados, sempre observando umidade da areia
≥ C25	Em massa	-

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12655 (2015).

Ainda utilizando a NBR 12655, esta padroniza a dosagem do concreto no país, a mesma, apresenta vários termos e definições que são de imprescindível conhecimento para que se possa ter entendimento quanto ao estudo de dosagem do concreto. O Quadro 2.11 traz algumas das definições da norma.

Quadro 2.11 – Termos e definições – concreto de cimento portland.

TERMOS	DEFINIÇÃO
Betonada	menor quantidade de concreto dosado e misturado, que pode ser considerada como uma unidade e tem uma única resistência à compressão
Relação água/cimento	relação em massa entre o conteúdo efetivo de água e o conteúdo de cimento Portland e outros materiais cimentícios
fck	resistência característica à compressão do concreto. Valor estabelecido no projeto estrutural, conforme ABNT NBR 6118
fck,est	resistência característica à compressão do concreto estimada. valor obtido estatisticamente a partir de ensaios para estimar a resistência característica do concreto estabelecida no projeto estrutural. Esse valor é calculado por meio de expressões matemáticas distintas em função do tipo adotado de controle estatístico da resistência do concreto
fcmj	resistência média à compressão do concreto. Corresponde ao valor da resistência média à compressão do concreto, a j dias. Quando não for indicada a idade, refere-se a j = 28 dias
Ar incorporado	bolhas de ar microscópicas incorporadas intencionalmente ao concreto durante a mistura, geralmente pelo uso de aditivos
Ar aprisionado	vazios de ar não intencionalmente introduzidos no concreto
Traço ou composição	quantidades expressas, em massa ou volume, dos vários componentes do concreto. O traço pode ser expresso em quantidades de materiais por metro cúbico de concreto
Estudo de dosagem	conjunto de procedimentos necessários à obtenção do traço do concreto para atendimento dos requisitos especificados pelo projeto estrutural e pelas condições da obra
Dosagem ou proporcionamento	medida dos materiais componentes do concreto para preparo do volume desejado
Empresa de serviços de concretagem	empresa responsável pelos serviços de dosagem e, geralmente, mistura e transporte do concreto, da central até o local de entrega, de acordo com o estabelecido em contrato
Central de concreto	conjunto de instalações onde são realizadas as operações de recebimento, estocagem e dosagem dos materiais componentes do concreto e, conforme o caso, mistura do concreto
Lote de concreto	volume definido de concreto, elaborado e aplicado sob condições consideradas uniformes (mesma classe, mesma família, mesmos procedimentos e mesmo equipamento)
Amostra de concreto	volume de concreto retirado do lote com o objetivo de fornecer informações, mediante realização de ensaios, sobre a conformidade deste lote, para fins de recebimento e aceitação
Exemplar	elemento da amostra ou da população (lote) constituído por dois corpos de prova da mesma betonada, moldados no mesmo ato, para cada idade de ensaio
Recebimento do concreto	verificação da conformidade das propriedades especificadas para o estado fresco, efetuada durante a descarga da betoneira e, no caso do concreto dosado em central, abrange também a aprovação da documentação correspondente ao pedido do concreto
Aceitação do concreto	verificação do atendimento a todos os requisitos especificados para o concreto

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12655 (2015)

A ABNT NBR 12655 apresenta as etapas utilizadas para o preparo do concreto:

- A)** Caracterização dos materiais componentes do concreto;
- B)** Estudo de dosagem do concreto;
- C)** Ajuste e comprovação do traço de concreto;
- D)** Elaboração do concreto.

Tais etapas serão abordadas no decorrer do estudo. Segundo Helene & Terzian, (1993), que apresentam a dosagem não experimental e dosagem experimental, a NBR 12655:2015 apresenta dos tipos de dosagens,

Dosagem racional e experimental

A composição de cada concreto de classe C20 ou superior, a ser utilizado na obra, deve ser definida, em dosagem racional e experimental, com a devida antecedência em relação ao início da concretagem da obra. O estudo de dosagem deve ser realizado com os mesmos materiais e condições semelhantes àquelas da obra, tendo em vista as prescrições do projeto e as condições de execução.

O cálculo da dosagem do concreto deve ser refeito cada vez que for prevista uma mudança de marca, tipo ou classe do cimento, na procedência e qualidade dos agregados e demais materiais.

Para concreto autoadensável, no estudo de dosagem devem ser verificados os requisitos da ABNT NBR 15823.

Dosagem empírica

O traço de concreto pode ser estabelecido empiricamente para o concreto das classes C10 e C15, com consumo mínimo de 300 kg de cimento por metro cúbico.

Como é possível perceber a classe de resistência do concreto (C10, C15, C20 e outras) é o ponto de partida necessário para se iniciar o estudo de dosagem do concreto.

Também é plausível a preocupação da ABNT em tratar da dosagem empírica, muito utilizada em obras de pequeno vulto, que geralmente trabalham com mão de obra não especializada, ponto para a ABNT e para o Brasil, por se preocupar com obras pequenas e grandes, garantindo maior segurança para a sociedade, técnicos e trabalhadores.

2.1.3.1. Resistência Média de Dosagem

A resistência média de dosagem (f_{cmj}) não necessariamente é a resistência característica (f_{ck}). De acordo com a NBR12655, a resistência média à compressão do concreto (f_{cmj}), “corresponde ao valor da resistência média à compressão do concreto, a j dias. Quando não for indicada a idade, refere-se a j = 28 dias”. Ainda conforme a norma adota-se a:

$$f_{cmj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- f_{cmj} = resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em MPa;
- f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em MPa;
- S_d = desvio-padrão da dosagem, em MPa;

A norma determina o desvio padrão em relação as condições de preparo do concreto, conforme o Quadro 2.12.

Quadro 2.12 – Condições de preparo do concreto e desvio padrão (Sd)

CONDIÇÃO	DEFINIÇÃO	Sd (MPa)	CLASSES
A	O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;	4,0	Todas as Classes
B	O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume	5,5	C10 a C20
C	O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR 16889 ou outro método normalizado.	7,7	C10 e C15

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12655 (2015)

De acordo com Tutikian & Helene (2011),

Observa-se que tanto para o **fcmj** quanto para o **fck** as idades de projeto não estão definidas, cabendo ao projetista estrutural da edificação, em conjunto com o tecnologista de concreto, definir a idade de controle e cálculo destes parâmetros. A idade depende do período que se pretende desenformar a estrutura ou aplicar tensão nos cabos, iniciar um carregamento construtivo dos próximos andares, o tempo que se pretende ocupar o prédio, entre outros fatores únicos de cada empreendimento. Quanto maior for a idade de controle, mais econômico e sustentável será o concreto. Porém, se não especificado, entende-se como parâmetro os 28 dias.

Para a **condição de preparo A**, é necessária a utilização de balanças de previsão de várias capacidades, ou equipamentos similares, além de uma organização e infraestrutura equivalente no local de preparo do concreto, o que inviabiliza sua configuração na grande maioria de obras, e até em muitas empresas de pré-fabricados. A **condição de preparo C** também é inviável em muitos casos, mas devido à classe de resistência à compressão do concreto permitida, de até 15MPa, o que não é comum quando se abrange os concretos para fins estruturais. Por isso, a empresa para dosar concreto no local de aplicação provavelmente irá se restringir à **condição de preparo B** e apenas até a resistência à compressão de 25MPa, impossibilitando sua utilização para fins mais nobres e até em locais com maior agressividade, como nas zonas de respingo de maré, industriais ou nas marítimas. Este fato é um problema sério em cidades e regiões do país, e são muitas, que não contam com empresas fornecedoras de concreto pré-misturado.

Observa-se que o limite da ABNT NBR 12655 para a **condição de preparo B**, os 25MPa, é extremamente conservador. Com a forma de dosagem da mistura estipulada neste item, pode-se facilmente chegar a concretos de até 50MPa, sem comprometer a confiabilidade da operação.

2.1.3.2. Método de dosagem experimental do IBRACON

Como escolha para dosagem do concreto para o presente trabalho será utilizado o método do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), o qual é uma evolução do método do IPT/EPUSP, que por sua vez, uni as teorias clássicas: Lei de Abrams, Lei de Lyse e Lei de Prizskulnik & Kirilos. O método, ainda, correlaciona o consumo de cimento e a resistência a compressão.

Segundo Tutikian & Helene (2011):

O método IBRACON entende que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para obter um dado abatimento requerido e faz isso considerando a interferência do aglomerante (cimento + adições) na proporção total de materiais. Portanto não se trata de obter a máxima compactidade do esqueleto granular, mas sim de obter o mínimo consumo de água para uma requerida consistência, o que vai resultar na máxima resistência à compressão daquele concreto. Poder-se-ia associar a uma “mistura” dos métodos baseados nas granulometrias contínuas (máxima trabalhabilidade) com métodos que se fundamentam na granulometria descontínua (máxima compactidade).

Os limites de aplicação conhecidos desse método IBRACON são:

- resistência à compressão: $5\text{MPa} \leq f_c \leq 150\text{MPa}$
- relação a/c: $0,15 \leq a/c \leq 1,50$
- abatimento: $0\text{mm} \leq \text{abatimento} \leq \text{autoadensável}$
- dimensão máxima do agregado graúdo: $4,8\text{mm} \leq D_{\text{max}} \leq 100\text{mm}$
- teor de argamassa seca: $30\% < \alpha < 90\%$
- relação água/ materiais secos: $5\% < H < 12\%$
- módulo de finura do agregado: qualquer
- distribuição granulométrica dos agregados: qualquer
- massa específica do concreto: $> 1500\text{kg/m}^3$

Mais uma vez, conforme Tutikian & Helene (2011), o método adota ainda como modelos de comportamento apresentados no Quadro 2.13.

Quadro 2.13 – Modelos de comportamento adotados pelo método do IBRACON

DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO
Teor de argamassa seca	$\alpha = \frac{1+a}{1+m}$	Equação 2
Relação água/materiais secos	$H = \frac{a/c}{1+m}$	Equação 3
Consumo de cimento/ m^3	$C = \frac{\gamma}{1+a+p+a/c}$	Equação 4

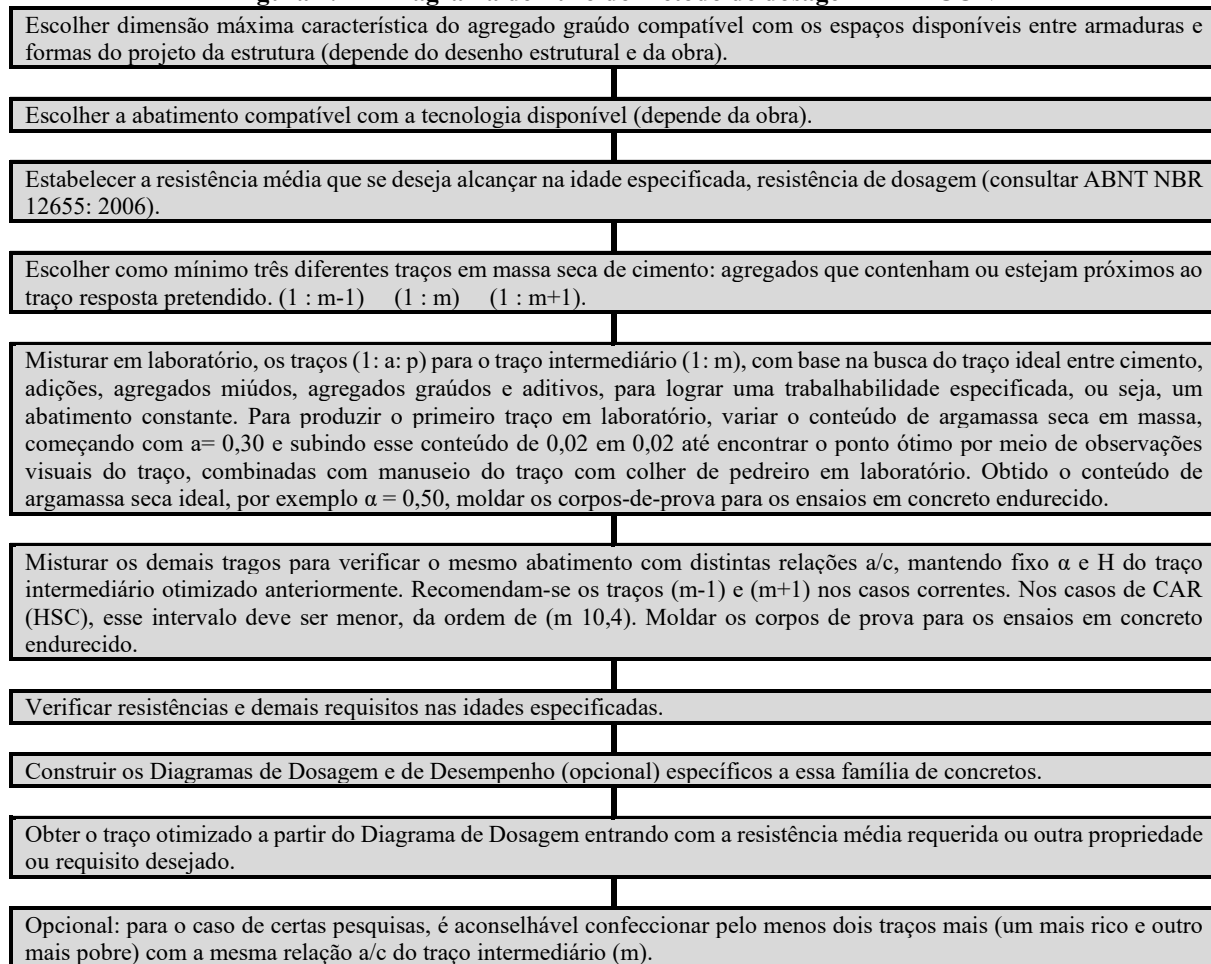
Fonte: Adaptado de Tutikian & Helene (2011).

Lembrando que:

- C = consumo de cimento por m^3 de concreto adensado em kg/m^3 ;
- γ = massa específica do concreto, medida em kg/m^3 ;
- a/c = relação água/cimento em massa em kg/kg ;
- a = relação agregado miúdo seco/cimento em massa em kg/kg ;
- $m = a + p$ = relação agregados secos/cimento em massa em kg/kg ;
- p = relação agregado graúdo seco/cimento em massa em kg/kg ;
- α = teor de argamassa seca na mistura seca deve ser constante para uma determinada família para assegurar a mesma coesão do concreto fresco, em kg/kg ;
- H = relação água/materiais secos deve ser constante para uma determinada família para assegurar o mesmo abatimento, em kg/kg ;

Ainda, conforme Tutikian & Helene (2011), os principais passos do método do IBRACON a serem tomados são descritos no fluxograma da Figura 2.14.

Figura 2.14 - Diagrama de fluxo do método de dosagem IBRACON



Fonte: Tutikian & Helene (2011).

A. Sequência de atividades - traço básico pelo Método do IBRACON

Segundo Helene & Terzian (1993) citado por Tutikian & Helene (2011), uma sequência do método do IBRACON foi amplamente elaborada no livro “Manual de Dosagem e Controle do Concreto”, que é considerado a primeira publicação detalhada, didática e completa sobre o método. Conforme Tutikian & Helene (2011)...

...recomenda-se a seguinte sequência de atividades a serem desenvolvidas no laboratório para bem conduzir a parte experimental do método de dosagem apresentado:

- 1) Imprimir a betoneira com uma porção de argamassa (> 20 kg) com o traço 1:2, $a/c < 0,6$. Deixar o material excedente cair livremente, quando a betoneira estiver com a abertura (boca) para baixo e em movimento;
- 2) Após pesar e lançar os primeiros materiais na betoneira, deve-se misturá-los durante cinco (5) minutos, com uma parada intermediária para limpeza das pás das betoneiras. Ao final, verificar se é possível efetuar o abatimento do tronco de cone, ou seja, se há coesão e plasticidade adequada;

3) Para a introdução dos materiais de modo individual dentro da betoneira, deve-se obedecer à seguinte ordem preferencial: água (80%); agregado graúdo (100%); fibra de aço, (100%); cimento (100%); adições minerais (100%); aditivo plastificante (100%); agregado miúdo (100%). Misturar por cinco (5) minutos. Claro está que as fibras, as adições e os aditivos são dispensáveis na maioria dos casos e basta não os incluir na betoneira, mas a sequência é sempre a mesma;

4) A seguir, quando for o caso, adicionar as fibras de polipropileno e o superplastificante de terceira geração (policarboxalato) e misturar por mais 20 minutos (*obs. esse prazo apesar de aparentemente longo, é necessário em certas situações conforme experiência dos autores*).

5) Adicionar água aos poucos, observando e controlando até obter o abatimento requerido;

6) Para a definição do teor ideal de argamassa, deve-se realizar o procedimento baseado em observações práticas descrito a seguir, para cada teor de argamassa;

a) Com a betoneira desligada, retirar todo material aderido nas pás e superfície interna e misturar novamente;

b) Passar a colher de pedreiro sobre a superfície do concreto fresco, introduzir na massa e levantar no sentido vertical para verificar se a superfície exposta está com vazios, indicando falta de argamassa;

c) Introduzir novamente a colher de pedreiro no concreto e retirar uma parte do mesmo, levantando-o até a região superior da cuba da betoneira.

Com o material nessa posição, verificar se há desprendimento de agregado graúdo da massa, o que indica falta de argamassa na mistura.

Após essa observação, soltar a porção de concreto que está sobre a colher e verificar se ela cai de modo coeso e homogêneo, o que indica teor de argamassa adequado;

d) Após o ensaio de abatimento, estando ainda o concreto com o formato de tronco de cone, deve-se bater suavemente na lateral inferior do mesmo, com auxílio da haste de socamento, com o objetivo de verificar sua queda. Se esta se realiza de modo homogêneo e coeso, sem desprendimento de porções, indica que o concreto está com teor de argamassa considerado adequado;

e) Na mesma amostra em que foi feito o ensaio de abatimento, deve ser observada se a superfície lateral do concreto está compacta, sem apresentar vazios;

f) Outra observação a ser realizada é se ao redor da base de concreto com formato de tronco de cone aparece uma camada de água oriunda da mistura. Essa ocorrência evidencia que há tendência de exsudação de água nesta mistura por falta de finos, que pode ser corrigida com mudança na granulometria da areia, colocar ou aumentar o teor de adições minerais ou de mais cimento;

g) O teor final de argamassa seca depende ainda de um fator externo que é a possibilidade de perda de argamassa no processo de transporte e lançamento (principalmente a quantidade retida na fôrma, na armadura, na tubulação da bomba, ou quando se utiliza de bica de madeira para o lançamento). Esse valor em processos usuais pode ser estimado entre 2% a 4% de “perdas”;

h) Realizar uma nova mistura com o traço intermediário, com o teor de argamassa definitivo e determinar todas as características do concreto fresco:

- relação água/cimento, necessária para obter a consistência desejada;
- consumo de cimento por metro cúbico de concreto;
- consumo de água por metro cúbico de concreto;
- massa específica do concreto fresco;
- abatimento do tronco de cone;
- teor de ar aprisionado.
- e calcular as constantes dessa família do traço intermediário (m):
- teor de argamassa seca (α) em kg/kg;
- relação água/materiais secos (H) em kg/kg.

Como visto o método do IBRACON envolve, inúmeros estudos anteriores e um único método, portanto, será o método aplicado para o estudo do presente trabalho.

B. Diagrama de Dosagem pelo Método do IBRACON

Por fim, Tutikian & Helene (2011) informam, que...

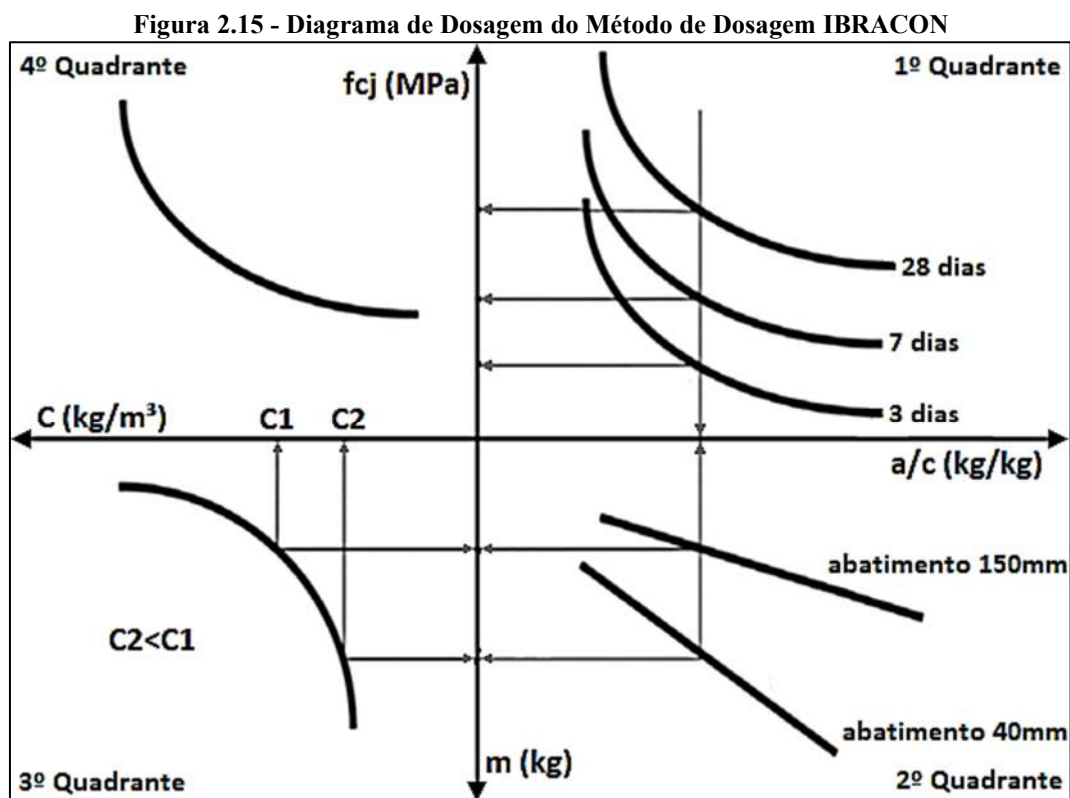
Com os resultados obtidos e processados, deve ser construído o chamado “Diagrama de Dosagem”, introduzido por Prizskulnik & Kirilos, em 1974, que corresponde ao modelo de comportamento das misturas do estudo em andamento e que facilita sobremaneira o entendimento do comportamento dessa família de concretos de mesmo abatimento, mas de propriedades muito diferentes depois de endurecidos, conforme se apresenta de forma ilustrativa na “Figura 2.15”.

1º Quadrante: Ajustar aos resultados obtidos a lei de Abrams (1918) ou o Modelo de Powers (1966), através de métodos dos mínimos quadrados, por exemplo, correlaciona a resistência a compressão e a relação água cimento;

2º Quadrante: Ajustar aos resultados obtidos a lei de Lyse (1932), correlaciona a relação água cimento e massa seca dos materiais;

3º Quadrante: Ajustar aos resultados pela lei de Prizskulnik & Kirilos (1974), correlaciona a massa seca dos materiais e o consumo de cimento;

4º Quadrante: Correlacionar a resistência à compressão com o consumo de cimento (rendimento em MPa/kg), observando que, preferencialmente, deve-se considerar somente consumo de cimento Portland (sem adições), pois assim haverá uma melhor avaliação indireta da sustentabilidade em termos de redução de emissão de gases estufa.



Fonte: Adaptado de Tutikian & Helene (2011).

2.1.3.3. Manipulação do Concreto

Para o presente estudo, as etapas onde o concreto é misturado, transportado, lançado e adensado, serão chamadas de manipulação do concreto.

Conforme a ABNT NBR 12.655, a última etapa para a elaboração do concreto é a elaboração do concreto, porém não se pode esquecer, também, das etapas vinculadas a elaboração do concreto, que são: transporte, lançamento e adensamento do concreto, as quais, são fases onde assim como a mistura, se manipula o concreto no período em que o mesmo ainda está fresco. Por fim, se tem a fase onde o concreto deve ficar em repouso após as fases de manipulação do concreto, esta fase é a cura do concreto, onde se inicia o endurecimento do concreto. Outra norma, que, deve ser colocada em prática nas etapas que envolvem a manipulação do concreto e a ABNT NBR 14931.

As etapas de manipulação do concreto são:

- 1.** Elaboração do concreto fresco (Amassamento, Mistura ou Preparo do Concreto)
 - a. Armazenagem;
 - b. Medidas;
 - c. Amassamento Manual;
 - d. Amassamento Mecanizados;
- 2.** Transporte do concreto fresco
 - a. Transporte externo (fora da obra) – da usina para a obra
 - i. Caminhões basculantes;
 - ii. Caminhões betoneiras.
 - b. Transporte interno (dentro da obra) – até o ponto de aplicação do concreto
 - i. Manual (baldes, padiolas);
 - ii. Carrinhos, Carriola e Jericas;
 - iii. Caçambas, Guindastes e Gruas;
 - iv. Esteiras;
 - v. Bombeamento.
- 3.** Lançamento do concreto fresco
 - a. Tempo de Lançamento: inferior a 1 (uma) horas;
 - b. Altura de lançamento: inferior a 2,5m.
- 4.** Adensamento do concreto fresco
 - a. Manual
 - i. Apiloamento
 - ii. Socamento
 - b. Mecânico
 - i. Centrifugação (mais utilizada em pré-moldados);

- ii. Vibração;
- iii. Mesas Vibratórias (mais utilizada em pré-moldados).

5. Cura do concreto

A NBR 14931 (2004) informa, quanto a cura do concreto, os seguintes cuidados:

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para:

- evitar a perda de água pela superfície exposta;
- assegurar uma superfície com resistência adequada;
- assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Os agentes deletérios mais comuns ao concreto em seu início de vida são: mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras na massa de concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura.

O endurecimento do concreto pode ser acelerado por meio de tratamento térmico ou pelo uso de aditivos que não contenham cloreto de cálcio em sua composição e devidamente controlado, não se dispensando as medidas de proteção contra a secagem.

2.2. O VIDRO

Afinal, O QUE É O VIDRO?

Usando como referência o artigo de Alves, Gimenez, & Mazali (2001), que publicou várias definições para os vidros publicadas nos anos 90, conforme o Quadro 2.14.

Quadro 2.14 – Definição de vidro encontrada em livros-texto publicados na década de 90.

AUTOR	ANO	DEFINIÇÃO
Elliott	1990	“Vidros são materiais amorfos que não possuem ordem translacional a longo alcance (periodicidade), característica de um cristal. Os termos amorfo e sólido não-cristalino são sinônimos nesta definição. Um vidro é um sólido amorfo que exibe uma transição vítrea.”
Zarzycki	1991	“Um vidro é um sólido não-cristalino exibindo o fenômeno de transição vítrea.”
Doremus	1994	“Vidro é um sólido amorfo. Um material é amorfo quando não tem ordem a longa distância, isto é, quando não há uma regularidade no arranjo dos constituintes moleculares, em uma escala maior do que algumas vezes o tamanho desses grupos. Não é feita distinção entre as palavras vítreo e amorfo.”
Varshneya	1994	“Vidro é um sólido que tem a estrutura do tipo de um líquido, um sólido “não-cristalino” ou simplesmente um sólido amorfo, considerando a característica de amorfo como uma descrição da desordem atômica, evidenciada pela técnica de difração de raios-X.”
Shelby	1997	“Vidro é um sólido amorfo com ausência completa de ordem a longo alcance e periodicidade, exibindo uma região de transição vítrea. Qualquer material, inorgânico, orgânico ou metal, formando por qualquer técnica, que exibe um fenômeno de transição vítrea é um vidro.”

Fonte: Adaptado Alves, Gimenez, & Mazali (2001).

Segundo a ABNT NBR NM 293, a mesma define vidro como: “Produto obtido a partir da fusão de matérias-primas, principalmente minerais, resfriado até uma condição de rigidez, sem se cristalizar”.

De acordo com CEBRACE (2019) o vidro pode ser definido como:

...uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais qualidades são a transparência e a dureza. O vidro tem incontáveis aplicações nas mais variadas indústrias, dada suas características de inalterabilidade, dureza, resistência e propriedades térmicas, ópticas e acústicas, tornando-se um dos poucos materiais ainda insubstituível, estando cada vez mais presente nas pesquisas de desenvolvimento tecnológico para o bem-estar do homem. (CEBRACE, 2019)

Já Bauer (2019) fala sobre as principais características do vidro,

O que dá ao vidro qualidades singulares é a sua estrutura atômica. Nem um líquido nem verdadeiramente um sólido cristalino; ele é um compromisso entre os dois: um líquido super-resfriado. À primeira vista, parece um sólido e tem algumas propriedades como tal (resistência mecânica, módulo de elasticidade etc.), mas, se inspecionada sua estrutura interna com raios X, não achamos o ordenamento regular dos átomos encontrados em outros sólidos. A estrutura é mais parecida com um arranjo aleatório de um líquido, o que ele realmente é, mas um líquido resfriado abaixo de seu ponto de congelamento. Ou seja, é um líquido que ficou com sua viscosidade tão alta, que, para fins práticos, pode ser tratado como um sólido.

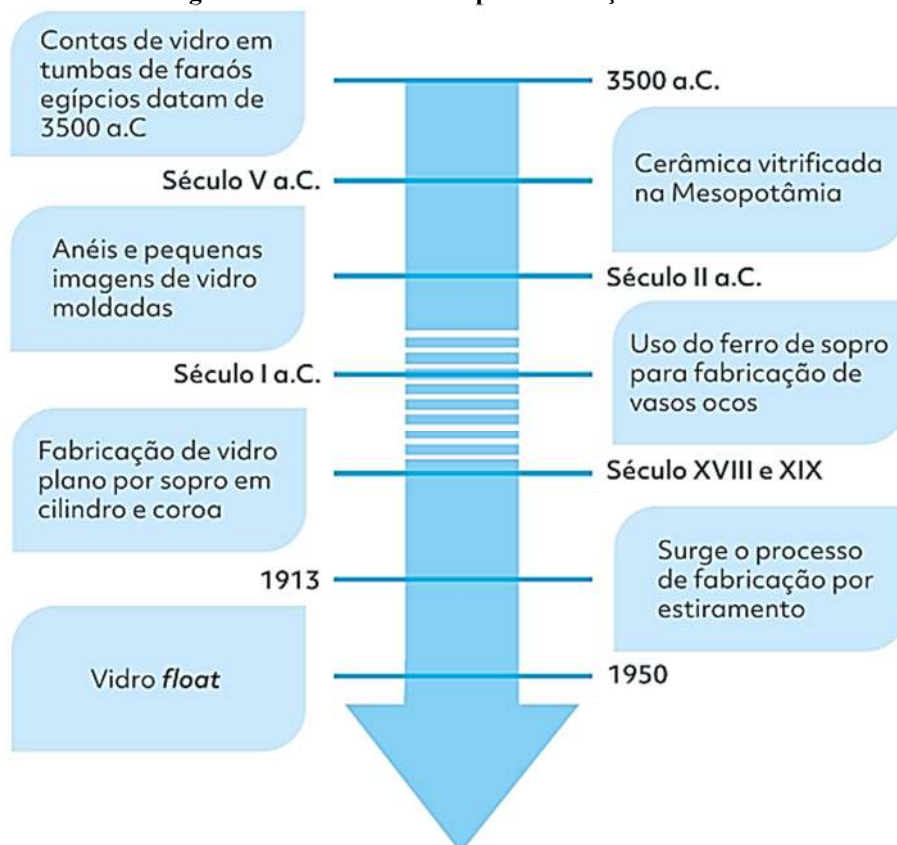
2.2.1. Contexto histórico

Segundo Bauer (2019),

Não se sabe exatamente a data ou o lugar em que o vidro foi descoberto. Alguns historiadores julgam que o primeiro vidro produzido pelo homem veio da região da Síria, aproximadamente 3000 anos antes de Cristo. Outros apontam o Egito, cerca de 2500 a.C. Sabe-se, com certeza, que em 1400 a.C. os egípcios produziam vasos, enfeites e outros objetos similares em uma fábrica descoberta em Tell el-Amarna. Posteriormente, os romanos, com o auxílio de artesãos egípcios e sírios, produziram vasos, garrafas, jarras e outros objetos de adorno. Também o empregaram como janelas, como se vê nas ruínas de Pompeia. Evidência de envidraçamento de casas também foi encontrada nas ruínas romanas da Inglaterra. As primeiras janelas foram produzidas aproximadamente no primeiro ou segundo século da era cristã. (BAUER, 2019, p. 171)

O Professor Fernando S. Westphal apresenta no Manual da ABIVIDRO (2016) a linha do tempo da evolução do vidro, conforme Figura 2.16.

Figura 2.16 – Linha do tempo da evolução do vidro.



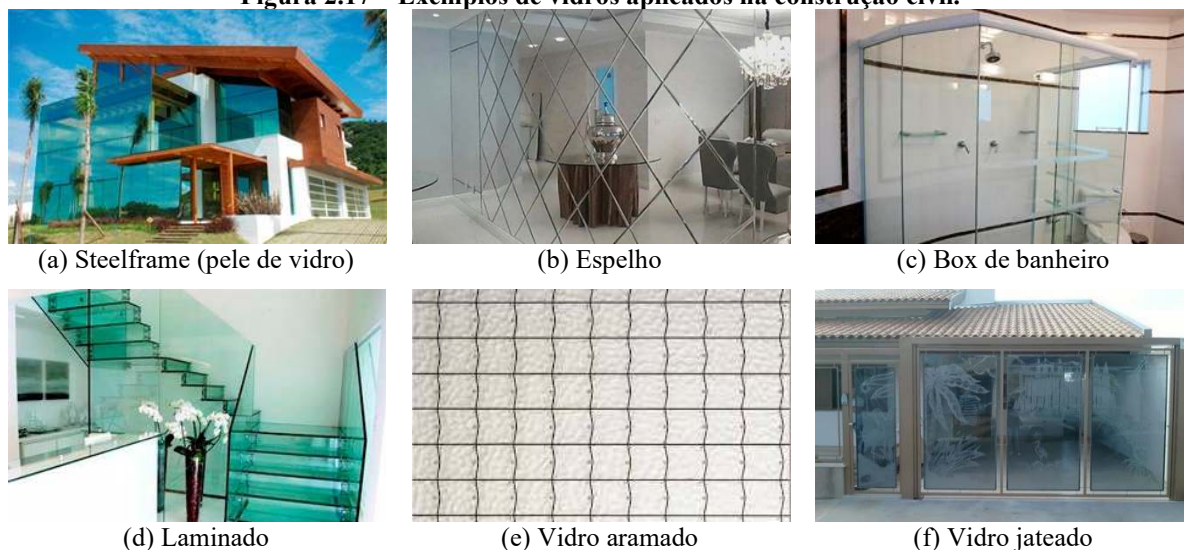
Fonte: Adaptado de ABIVIDRO (2020).

“Atualmente, o vidro plano compõe uma importante classe de materiais utilizados em diferentes segmentos. Estima-se que cerca de 70% da produção total de vidros é usada na construção civil no Brasil, principalmente em novos edifícios ou renovação de fachadas” (ABIVIDRO, 2016).

2.2.1.1. Vidro na Construção Civil

Na construção civil a aplicação dos vidros resume-se, em sua grande maioria, na utilização de vidros planos e suas variações, podem ser citados: para vedação, peles de vidro, painéis, guardas-corpo, box de banheiros, esquadrias, em espelhos, em adornos, não podemos esquecer, também, os vidros curvos. As Figura 2.17 apresentam exemplos de vários tipos de vidro que podem ser aplicados na construção civil.

Figura 2.17 – Exemplos de vidros aplicados na construção civil.



Fonte: Adaptado de Vidrofort.

Disponível em: < <http://www.vidrofort.ind.br/produtos/#a> >. Acesso em: 19 out. 2019.

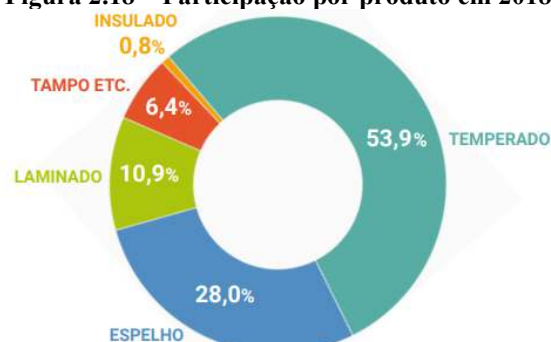
2.2.1.2. Vidro na economia brasileira

Com a evolução da economia brasileira aliada ao aumento do consumo e evolução nas tecnologias de produção, a indústria do vidro cresceu e finalmente consolidou-se no país. Por volta de 1950, a demanda de vidro aumentou nos setores moveleiro e na construção civil, surgindo as primeiras grandes empresas vidreiras no país. (ABRAVIDRO, 2019)

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de vidro e o maior da América Latina, de acordo com o Panorama Abravidro 2019, apesar de três anos consecutivos em queda na produção e faturamento no setor de vidros processados, apresentou-se aumento de 1,9% no volume produzido e 8% no faturamento. Valores animadores dada a fase econômica pela qual o país tem passado. (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007)

Ainda de acordo com o Panorama Abravidro 2019, o vidro temperado tem se destacado entre os principais produtos entre os vidros processados não automotivos representando mais da metade da produção nacional, conforme apresentado na Figura 2.18

Figura 2.18 – Participação por produto em 2018.



Fonte: ABRAVIDRO (2019)

2.2.2. Matéria-Prima Geral do Vidro e Estrutura Atômica

O vidro é obtido a partir da fusão de uma mistura homogênea de sílica (SiO₂) e outros óxidos, além de materiais como a barrilha cuja função é reduzir a temperatura de fusão da mistura.

Embora a composição exata dependa da finalidade do vidro produzido – o que garante enorme variedade de tipos e características para esse material – a composição mais comum é apresentada na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Composição química geral do vidro

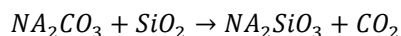
MATERIAL	%
Sílica (SiO ₂)	74
Óxido de sódio (Na ₂ O)	12
Óxido de cálcio (CaO)	9
Óxido de magnésio (MgO)	2
Alumina (Al ₂ O ₃)	2
Óxido de potássio (K ₂ O)	1

Fonte: ABRAVIDRO (2019)

As principais características que tornam esse material indispensável ao homem são: reciclabilidade, transparência (permeável à luz), dureza e durabilidade e seu caráter inerte. Esta última é de fundamental interesse para o presente estudo: o vidro é um material inerte, ou seja, devido às suas características e composição, o vidro não interage quimicamente.

De acordo com Bauer 2019,

O vidro poderia ser feito apenas com sílica (SiO₂), carbonato de sódio, também chamada barrilha (Na₂CO₃), e calor, de acordo com a equação:

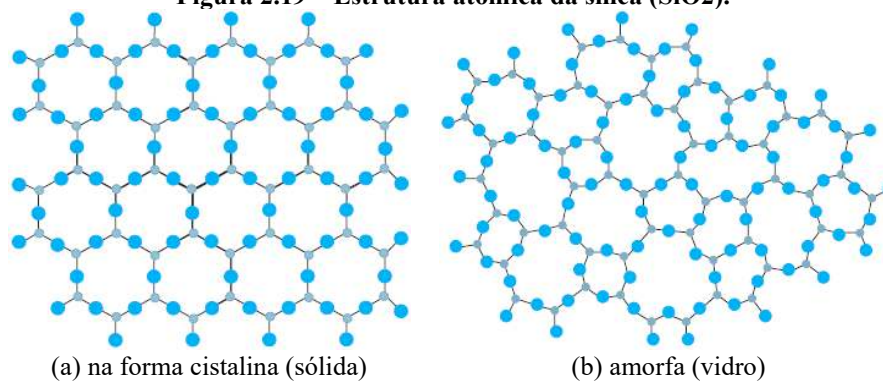


Equação 5

O sódio é um fundente para a sílica e permite que se obtenha o vidro em temperaturas mais baixas. Entretanto, esse vidro seria solúvel em água (seu velho nome é vidro-água). A adição do cálcio torna-o mais duro e insolúvel na água.

A composição química do vidro pouco mudou nesses 5000 anos. O vidro mais usado no mundo, o sodo-cálcico, apresenta uma boa estabilidade química e conta com cerca de 70 % de SiO₂, 15 % de óxido de sódio (Na₂O) e 10 % de óxido de cálcio (CaO), com 5 % de outros óxidos. Na realidade, o sódio e o cálcio são adicionados como carbonatos e perdem dióxido de carbono (CO₂) durante o aquecimento, formando óxidos de sódio e de cálcio, que ficam ligados à rede de sílica. (BAUER, 2019)

A Figura 2.19 apresenta a afirmação de Bauer (2019), Estrutura atômica da sílica (SiO₂): (a) na forma cristalina (sólida) e (b) amorfa, como aparece no vidro. Os átomos de silício são as bolas pretas e os de oxigênio, as bolas brancas.

Figura 2.19 – Estrutura atômica da sílica (SiO₂).

Fonte: Adaptado de ALVES, GIMENEZ, & MAZALI (2001) e BAUER (2019)

2.2.2.1. Composição Química Geral dos Vidros

Devido as diversas aplicações dos vidros, as suas composições químicas podem serem variadas, existem os vários tipos de vidro, Akerman (2000) cita os seguintes:

Sílica Vítre

Este vidro pode ser preparado, aquecendo-se areia de sílica ou cristais de quartzo até uma temperatura acima do ponto de fusão da sílica, 1725°C. Por causa da sua natureza de rede tridimensional, tanto para a sílica cristalina como a vítrea, o processo de fusão é muito lento. O vidro resultante é tão viscoso que qualquer bolha de gás formada durante o processo de fusão não se liberta, por si só, do banho.

Uma segunda técnica para se produzir sílica vítrea é um processo de deposição de vapor. Neste processo, tetracloreto de silício reage com oxigênio a temperaturas acima de 1500°C. Partículas de sílica finamente divididas são formadas, as quais podem ser consolidadas coletando-as em um substrato mantido em temperaturas superiores a 1800°C.

Sílica vítrea tem um coeficiente de expansão térmico muito baixo, sendo ideal para janelas de veículos espaciais, espelhos astronômicos, e outras aplicações aonde são exigidas baixa expansão térmica a fim de se ter resistência a choques térmicos ou estabilidade dimensional.

Devido à extrema pureza obtida pelo processo de deposição de vapor, sílica vítrea é utilizada para produção de fibras óticas.

Silicatos Alcalinos

A fim de reduzir a viscosidade do vidro fundido de sílica, é necessário adicionar um fluxo ou modificador de rede. Os óxidos alcalinos são excelentes fluxos. Como eles são modificadores de rede, eles "amolecem" a estrutura do vidro pela geração de oxigênios não-pontantes.

Os óxidos alcalinos são normalmente incorporados nas composições dos vidros como carbonatos. Acima de 550°C os carbonatos reagem com a sílica formando um líquido silicoso e, se a proporção de carbonato alcalino e sílica for adequada, formará um vidro com o resfriamento. Ainda que estas reações aconteçam abaixo do ponto de fusão da sílica, tecnólogos vidreiros referem-se a este processo como fusão.

A adição de alcalinos diminuem a resistência química do vidro. Com altas concentrações de álcalis, o vidro será solúvel em água, formando a base da indústria de silicatos solúveis utilizados em adesivos, produtos de limpeza e películas protetoras.

Vidros Sodo-Cálcicos

Para reduzir a solubilidade dos vidros de silicatos alcalinos mantendo-se a facilidade de fusão, são incluídos na composição, fluxos estabilizantes no lugar de fluxos

alcalinos. O óxido estabilizante mais utilizado é o de cálcio, muitas vezes junto com óxido de magnésio. Estes vidros são comumente chamados de sodo-cálcicos. Eles compreendem, de longe, a família de vidros mais antiga e largamente utilizada. Vidros sodo-cálcicos foram usados pelos antigos egípcios, enquanto hoje em dia constituem a maior parte das garrafas, frascos, potes, janelas, bulbos e tubos de lâmpadas.

As composições da maioria dos vidros sodo-cálcicos estão dentro de uma faixa estreita de composição. Eles contêm, normalmente, entre 8 e 12 por cento em peso de óxido de cálcio e de 12 a 17 por cento de óxido alcalino (principalmente óxido de sódio). Muito cálcio faz com que o vidro tenha tendência a devitrificar (cristalizar) durante o processo de produção. Muito pouco cálcio ou alto teor em alcalinos resulta um vidro com baixa durabilidade química.

Usualmente, uma pequena quantidade de alumina (0,6 a 2,5%) é incluída na formulação para incrementar a durabilidade química.

Outros óxidos alcalinos-terrosos podem substituir o cálcio ou magnésio em composições usadas para produtos especializados. Por exemplo, bulbos de televisão a cores contêm quantidades consideráveis de óxidos de bário e estrôncio para absorver raios-x produzidos durante a operação do aparelho de TV.

Vidros ao Chumbo

O óxido de chumbo é, normalmente, um modificador de rede, mas em algumas composições pode, aparentemente, atuar como um formador de rede. Vidros alcalinos ao chumbo têm uma longa faixa de trabalho (pequena alteração de viscosidade com diminuição de temperatura), e, desta maneira têm sido usados por séculos para produção de artigos finos de mesa e peças de arte.

O chumbo também confere ao vidro um maior índice de refração, incrementando seu brilho.

Vidro ao chumbo é o vidro nobre aplicado em copos e taças finas conhecido como “cristal”, termo ambíguo pois, já sabemos que o vidro não é um material cristalino.

Devido ao fato do óxido de chumbo ser um bom fluxo e não abaixar a resistividade elétrica, como fazem os óxidos alcalinos, vidros ao chumbo são usados largamente na indústria eletro-eletrônica. Funil de tubo de televisão a cores é um exemplo de aplicação comercial devido essas características elétricas, assim como da propriedade de absorção dos raios-x destes vidros.

Vidros ao chumbo são também utilizados em ótica, devido aos seus altos índices de refração.

Vidros Borossilicatos

O óxido de boro, por si só, forma um vidro com resfriamento a partir de temperaturas acima do seu ponto de fusão a 460°C. Entretanto, ao invés da rede tridimensional da sílica vítrea, o óxido de boro vítreo é composto de uma rede de triângulos boroxigênio. Em vidros silicatos com baixo teor de alcalinos a altas temperaturas, o boro mantém sua coordenação trigonal plana, que diminui a coesão tridimensional da estrutura de vidros ao silicato. Devido a isso, este é frequentemente usado como fluxo em substituição aos óxidos alcalinos. Já que íons formadores de rede, aumentam muito menos o coeficiente de expansão térmica do que íons modificadores de rede, o óxido de boro é frequentemente utilizado como agente fluxante em vidros comerciais, nos quais se deseja resistência ao choque térmico.

Os vidros borossilicatos apresentam alta resistência ao choque térmico e por isso são empregados em produtos de mesa que podem ser levados ao forno. É o caso do Pyrex e do Marinex.

Devido à menor quantidade de óxidos modificadores, além da resistência ao choque térmico vidros borossilicatos são também muito resistentes ao ataque químico e por isso são utilizados em vários equipamentos de laboratório.

Vidros Alumino-Borossilicato

Quando se adiciona alumina (óxido de alumínio) em uma formulação de vidro silicato alcalino, o vidro se torna mais viscoso em temperaturas elevadas. Em vidros ao silicato, a alumina é um formador de rede (embora sozinha não forme vidro em condições normais) e assume uma coordenação tetraédrica similar à sílica. Sendo o alumínio trivalente, em contraste com o silício que é tetravalente, a coordenação

tetraédrica da alumina diminui o número de oxigênios não-pontantes, o que aumenta a coesão da estrutura do vidro. Como consequência, vidros alumino-silicatos comerciais podem ser aquecidos a temperaturas superiores sem deformação, comparativamente a vidros sodo-cálcicos ou à maioria dos borossilicatos.

Vidros alumino-silicatos são utilizados em tubos de combustão, fibras de reforço, vidros com alta resistência química e vitro-cerâmicos.

A Tabela 2.6 apresenta algumas porcentagens da composição de produtos da vítreos, correlacionando com o tipo de vidro.

Tabela 2.6 – Algumas composições típicas de diversos vidros comerciais

TIPOS	PRODUTOS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO
Sodo-Cálcico	Embalagem	72,0	2,0	-	12,5	1,0	11,0	1,5	-
	Plano	71,0	1,0	-	13,5	0,5	10,0	4,0	-
	Lâmpada	73,0	1,0	-	16,5	0,5	5,0	4,0	-
Borossilicato	Pyrex	79,0	2,0	13,0	5,5	0	-	-	-
	Fibra Isolação	66,0	1,5	3,5	15,5	1,0	8,0	4,0	-
Chubo	Cristal	56,0	-	-	4,0	12,0	2,0	2,0	24,0
	Néon	63,0	1,0	-	8,0	6,0	-	-	22,0
	Lente	32,0	-	-	1,0	2,0	-	-	65,0
Alumino Borossilicato	Farmacêutico	72,0	6,0	11,0	7,0	1,0	1,0	-	-
	Fibra Reforço	55,0	15,0	7,0	-	-	19,0	4,0	-
	Tubo Combustão	62,0	17,0	5,0	1,0	-	8,0	7,0	-

Fonte: Adaptado de Akerman (2000)

2.2.2.2. Propriedades Físicas e Mecânicas do Vidro

Em relação às propriedades físicas do vidro comum ou recozido e do vidro temperado, a norma ABNT NBR 7199 define os seguintes valores:

- Módulo de elasticidade: $E = 75.000 \pm 5000 \text{ MPa}$
- Tensão de ruptura à flexão:
 - Vidro recozido: $40 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$
 - Vidro temperado: $180 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$
- Coeficiente de Poisson: 0,22
- Massa específica: $2,5 \text{ g/cm}^3$
- Dureza: entre 6 e 7 na escala de Mohs
- Índice de refração: $\sim 1,52$
- Coeficiente de dilatação linear entre 20 °C e 220 °C: $\alpha = 9 \text{ } ^\circ\text{C} \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Calor específico entre 20 °C e 100 °C: $C = 0,19 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- Tensão admissível à flexão:
 - Vidro recozido: $s = 13 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$
 - Vidro temperado: $s = 60 \text{ MPa} \pm 4 \text{ MPa}$

2.2.3. Resíduos de Vidro

De acordo com a Revista O Vidroplano (2016),

Todo vidro que não pode ser utilizado no processamento é considerado sucata. São diversos os motivos:

- Retalhos (pedaços que sobram) do processo de corte que não possuem tamanho adequado para serem aproveitados;
- Cacos que surgem de quebras durante a lapidação, furação ou no forno de têmpera - seja pelo manuseio errado das peças ou defeitos de fabricação;
- Baixa qualidade da matéria-prima, revelada pela presença de bolhas no vidro, por exemplo;
- Peças enviadas pelos fabricantes de vidro que não estão de acordo com o pedido realizado.

“Podemos dizer que a sucata gerada em todo o processo está em torno de 11% a 12% do vidro que entra na empresa”, comenta Albert Pestana, diretor-industrial da Pestana Vidros.

Logo é possível dizer, que, a sucata de vidro, refere-se ao material vítreo não aproveitado no processamento de fabricação de materiais vítreos.

Considerando, ainda, que, os vidros são utilizados no comércio, como: embalagens, garrafas, vasilhas, dentre outros, serão descartados após o uso, é possível afirmar que: “sucata de vidro + os vidros usados e descartados + outros materiais vítreos descartados = resíduos de vidro”

2.2.3.1. Reciclagem do Vidro

A crescente preocupação com a escassez de insumos para produção de bens faz com que se desenvolvam meios de reutilizar e reaproveitar materiais. Vale ressaltar que há diferença entre reutilizar e reciclar. Reciclar diz respeito a reinserir o produto no ciclo de produção, ou seja, reprocessar o item e produzir um novo. Reutilizar não infere reprocessamento. Nesse caso, o material é utilizado para a mesma ou outra função sem que esse seja transformado, modificando suas características principais.

O vidro é um material 100% reciclável, além de facilmente reutilizável. Na indústria, estima-se que, ao utilizar 10% de cacos de vidro, reduz-se em 4% o uso de energia e em 5% a emissão de CO_2 . Além disso, é comum que se reutilizem embalagens de vidro. Há também as embalagens retornáveis que passam por vários ciclos de utilização gerando economia energética e de insumos. (ROSA; COSENZA; BARROSO, 2007)

Apesar de ser facilmente reutilizado e reciclado, apenas 47% do vidro do país foi reciclado em 2011. Desse total, 40% é oriundo da indústria de envase, 40% do mercado difuso, 10% do "canal frio" (bares, restaurantes, hotéis etc) e 10 % do refugo da indústria.

Ao comparar com países como Alemanha e Suíça cujos índices de reciclagem são respectivamente 87% e 95%, percebe-se que o Brasil está longe de ser eficiente nesse segmento.

O cenário é ainda pior quando analisamos o Estado do Acre. Apesar de cooperativas de reciclagem e de projetos de coleta seletiva, os índices de reciclagem do vidro são desconhecidos, visto que nenhuma das cooperativas trabalha com esse material no estado.

Figura 2.20 – Vidros recicláveis.



Fonte: Agrupamento de Escolas Martins de Freitas - Coimbra.

Disponível em: <<http://www.agrupamentomartimdefreitas.com/web/escola/arquivo-de-noticias?start=40>>.

Acesso em: 22 out. 2019.

2.2.4. Aplicação de Vidro em Argamassas e Concretos

Há de se enfatizar que não existem normas para aplicação de vidro como agregados em argamassas e concretos. O vidro na construção civil é convencionalmente utilizado para fachadas, portas, pisos, divisórias, coberturas, escadas, entre outros. Entretanto, a tendência de buscar materiais que pudessem ser reutilizados em outro processo produtivo alavancou estudos acerca do uso do vidro aplicada em matrizes cimentantes.

O processo de utilização do vidro na composição de argamassas e concretos, exige que o mesmo passe por processo de moagem, ou seja, o mesmo precisa ser triturado, até a granulometria desejada, logo, entende-se esta etapa como um processo, que, pode ser considerado simples, pois é o mesmo processo que alguns agregados de origem rochosas são submetidos, a Figura 2.21 apresenta exemplos de vidros triturados em granulometrias variadas.

O vidro moído ou triturado, na composição de concretos é tratado como um agregado, variando apenas se é miúdo ou graúdo, a depender da granulometria.

Figura 2.21 – Exemplos de vidros triturados em granulometrias variadas.



Fonte: BH Recicla. Disponível em: < <https://bhrecicla.com.br/blog/tudo-sobre-reciclagem-vidro/> >. Acesso em: 22 out. 2019.

2.2.4.1. Estudos com aplicação de vidro em argamassas

No estudo realizado por Penacho (2012), pensou no elemento ambiental ao imaginar utilizar vidro moído em argamassas cimentícias e, assim, reduzir a quantidade de vidro destinada a aterros.

Desta forma, para além da diminuição do volume de resíduos a depositar em aterro, contribuir-se-á para a redução da exploração de um recurso natural finito, nomeadamente a areia proveniente dos leitos de rios e areeiros, que tem como consequências a degradação ambiental, bem como problemas ao nível da poluição associada à sua extração.

Foram então produzidas argamassas, ao traço volumétrico 1:4, em que parte da areia foi substituída por agregados finos de vidro, nas percentagens de 0, 20, 50 e 100%, tendo-se mantido a curva granulométrica do agregado no processo de substituição, realizado em volume, de modo a ter como única variável o tipo de material...

O estudo mostra que a utilização de este tipo de argamassa modificada é tecnicamente viável, sobretudo para percentagens de substituição da ordem de 20%, apresentando até melhorias, das quais se destaca o comportamento mecânico e a compatibilidade física com o suporte, possibilitando novos padrões de construção...

Já no estudo de Ticianelli (2018), verificou-se argamassas com substituição de agregado miúdo por vidro moído, a seguir o resumo da obra:

O crescimento tem um preço alto para o meio ambiente, a construção civil deixa um rastro indesejável, e o que deveria ser um sinal de novos tempos se transforma em mais um problema. Dentre os resíduos de construção e demolição (RCD), o vidro é o mais ambientalmente vantajoso, pela baixa quantidade de emissão de gases e tem características de inalterabilidade e reciclabilidade. Ele pode ser reciclado diversas vezes sem perder suas qualidades no processo de reaproveitamento. Por isso a reciclagem de resíduos da construção civil é uma alternativa sustentável que gera economia, proteção ambiental e desenvolvimento social. Com propósito de buscar alternativas de minimizar tal problema, o objetivo do trabalho é substituir o agregado miúdo (areia) por resíduo de vidro em porcentagem na argamassa. Inicialmente foi coletado o resíduo de vidro, proveniente da recicladora PRS da cidade de Porto Velho/RO, e realizado o ensaio de granulometria do vidro e do agregado miúdo. Em seguida foi calculado o traço referencial da argamassa e as substituições do agregado miúdo pelo vidro, nas proporções de 25%, 50% e 75%. Após execução dos traços, foram moldados os corpos de provas e posteriormente feito ensaio de determinação a resistência de aderência e resistência à compressão. Na porcentagem de 25% foram

obtidos resultados acima dos corpos-de-prova referência, melhor trabalhabilidade, aderência em execução e aspecto final sem comprometimento de fissuras. A pesquisa mostra resultados satisfatórios em relação à norma para a substituição de partes da areia por resíduo de vidro na produção de argamassas.

No estudo de Trentin et al. (2020), que, verificou a substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa, o estudo utilizou garrafas do tipo “*long neck*” moídas para a confecção de argamassas.

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de utilização de garrafas *long neck* moídas em substituição parcial a areia na produção de argamassa. Para tanto, foram realizados ensaios de consistência no estado fresco e de resistência à tração na flexão, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade no estado endurecido. Os percentuais de substituição de agregado miúdo por resíduo de vidro moído foram de 10, 15, 25 e 50 % nos tempos de 7, 28, 63 e 91 dias. Como resultados, nos ensaios de resistência mecânica, obtiveram-se resistências estatisticamente iguais ou superiores ao traço referência, sendo as maiores resistências obtidas com o teor de 50 % de resíduo de vidro moído. Já no ensaio de absorção de água por capilaridade, todos os traços de argamassa apresentaram elevado coeficiente de capilaridade, sendo considerados inadequados para utilização em argamassas de revestimento.

2.2.4.2. Estudos com aplicação de vidro em concretos

Segundo Altair Santos (2015), no sítio eletrônico Massa Cinzenta da Cimentos Itambé, que apresenta as seguintes informações sobre o vidro moído (Figura 2.22):

A Austrália é o país que mais utiliza vidro moído proveniente de reciclagem como agregado para produzir concreto. O material chega a ser usado em taxas de 10% a 20%, como substituto da areia, para a construção de vigas, pilares e lajes, além de elementos não-estruturantes – neste caso, em taxas que podem substituir a areia em até 50%.

No Brasil, o vidro moído é usado na composição de asfalto, mas raramente no concreto. Para romper esse paradigma, a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a Universidade Federal do Pampa (Unipampa) atuaram conjuntamente em uma pesquisa iniciada em 2012, cujo objetivo era observar a degradação térmica de concretos que agregavam vidro moído e passavam por situação de incêndio.

O trabalho foi apresentado em setembro de 2012, na cidade do Rio de Janeiro-RJ, durante a Jornada Sul-americana de Engenharia Estrutural. Um dos coordenadores foi o professor da UFSM, Rogério Cattelan Antochaves de Lima, que mostrou o teor da pesquisa: “O concreto utilizado no programa experimental contemplou a substituição de parte do agregado miúdo natural (areia) por vidro moído, nas proporções de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% e 100%. O vidro utilizado nos ensaios foi proveniente da coleta seletiva de 220 garrafas do tipo long-neck.”

O trabalho em laboratório seguiu as normas técnicas para produção de concreto, além das especificações granulométricas de agregados. Em sua conclusão, a pesquisa diz: “As resistências dos diferentes traços analisados à temperatura ambiente foram compatíveis com as resistências de dosagem usualmente especificadas na produção de concretos, sendo possível afirmar que o teor de substituição mais adequado nesta pesquisa foi de 20%, pois atingiu-se um patamar de resistência equivalente ao concreto sem substituição. No caso da substituição de 100% da areia por vidro, apesar de atingir-se uma resistência superior, a trabalhabilidade foi altamente prejudicada, inviabilizando a moldagem manual dos corpos-de-prova”.

Segue a conclusão: “Por outro lado, analisando-se o efeito da exposição dos concretos a elevadas temperaturas, observa-se que a exposição a 600 °C, em diferentes intervalos de tempo, ocasionou uma redução gradual na resistência à compressão e esta, na maioria dos casos, foi diretamente proporcional ao incremento do tempo de exposição. Em particular, no teor de 20% constata-se um comportamento similar ao concreto sem substituição em todos os tempos de exposição, indicando novamente que este teor seria o mais indicado para os resultados desta pesquisa”.

Segundo o professor Rogério Cattelan Antochaves de Lima, outras análises levaram à descontinuidade da pesquisa. “No decorrer da revisão bibliográfica se constatou que a adição de vidro ao concreto poderia desencadear uma reação álcali-sílica, reação esta que se acontecer é expansiva e extremamente prejudicial ao concreto, podendo levar a colapso estrutural”, finaliza.

Figura 2.22 – Vidros moído em peneira de laboratório.



Fonte: Cimentos Itambé. Disponível em: < <https://www.cimentoitambe.com.br/vidro-moido-como-agregado/> >. Acesso em: 22 out. 2019.

Já Guignone (2017) em seu estudo intitulado: “Desempenho de Concretos Com a Utilização de Resíduos da Lapidação do Vidro Como Substitutos Parciais ao Cimento”, informa sobre o estudo que...

...No que tange à durabilidade, identificam-se os íons cloreto como um dos principais agentes responsáveis pela redução da vida útil das estruturas de concreto armado, pois ao ingressar no interior das estruturas, são capazes de despassivar a armadura ocasionando corrosão, comprometendo a capacidade de carga. Uma importante solução para mitigar o ingresso destes agentes agressivos é a utilização de sistemas compostos por cimento Portland e pozolanas, capazes de interagir com os compostos do cimento melhorando o seu desempenho. Neste contexto, pesquisas têm identificado avanços com relação à utilização de resíduos de vidro em matrizes cimentícias, favorecendo destinação sustentável para o resíduo e redução do consumo de cimento, em função de sua substituição parcial. Constatam-se benefícios com relação às propriedades mecânicas e aquelas relacionadas com a durabilidade, entretanto tem-se observado, em alguns casos, suscetibilidade a processos expansivos relacionados à reação álcali-sílica, podendo ser atenuada com a utilização conjunta de outros materiais suplementares, como por exemplo o metacaulim...

Para a produção dos concretos, utilizou-se como substituição parcial ao cimento, resíduo de vidro com e sem moagem e metacaulim.

Os resultados demonstraram que os resíduos da lapidação do vidro, utilizados em substituição ao cimento em até 20%, quando moídos em dimensões de partículas adequadas, podem melhorar o desempenho de concretos, beneficiando os aspectos mecânicos, elevando de modo significativo a resistência aos íons cloretos e ainda mitigar reações álcali-sílica

No estudo de Carvalho et al. (2018), que, verificou a resistência do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por vidro de igual granulometria, pode-se ver que o trabalho propõe...

... incorporar vidro de garrafas, no concreto, em substituição parcial ao agregado miúdo, separado, nas faixas granulométricas das peneiras da série normal, em seguida distribuído nas mesmas proporções que o agregado miúdo com igual granulometria. Visando encontrar um percentual ideal do material reciclado como um substituto do agregado miúdo, analisam-se as propriedades mecânicas do concreto em sua fase fresca e endurecida. Usando traços para a confecção de corpos de prova que utilizam vidro moído nas proporções de 3%, 5%, 7% e 15% em substituição da massa de agregado miúdo, compara-se o concreto produzido com estes traços a um concreto convencional tido como referência, mantendo-se as proporções do traço original e relação água/cimento. Desse modo, pretende-se dar uso a um material que seria dispensado, acarretando prejuízos ambientais e ainda verificar a viabilidade técnica na melhoria de propriedades mecânicas da produção de concreto.

Os resultados mostraram que a adição de vidro na mesma proporção granulométrica do agregado miúdo no concreto não influenciou positivamente no concreto, pois ou a resistência se manteve ou foi diminuída por causa da adição do pó de vidro. Como o concreto é feito com a intenção de longa duração, o que mais pode interessar são os resultados da resistência em longo prazo. Mesmo que para as idades iniciais os resultados tenham apresentado diminuições em relação às resistências, para a idade de 60 foi observado que não houve distinção estatisticamente. Concluindo então que a adição do pó de vidro nos teores estudados manterá as características do concreto em longo prazo, contribuindo simultaneamente para a diminuição de resíduos de vidro jogados na natureza.

No estudo de Diogo, Silva, & Oliveira (2020) de título, “Estudo para utilização do resíduo de vidro na substituição de agregado miúdo na confecção de concreto”, o resumo do trabalho informa:

Este projeto visa apresentar o resultado do estudo da utilização técnica do resíduo de vidro na confecção de concreto, através de ensaios normativos para avaliar a propriedade de suas resistências mecânicas a compressão, com substituição de porcentagens parcial e total do agregado miúdo (areia). Para o estudo foram moldados corpos de prova substituindo porcentagens parciais (10, 20, 30, 40 e 50%) do agregado miúdo e corpos de prova utilizando porcentagem total (100%) do resíduo de vidro como agregado miúdo. Benefícios como a reciclagem de vidro diminuindo o impacto no meio ambiente, ganhos financeiros e sustentabilidade na construção civil são possíveis ganhos a serem aproveitados no caso de viabilidade desse estudo. Após os 28 dias de cura, os traços de concretos com a utilização do resíduo de vidro nas proporções de 10, 20 e 40% na substituição parcial do agregado miúdo, apresentaram valores de resistência à compressão levemente superior ao concreto utilizando o agregado miúdo tradicional (areia), já os traços utilizando das proporções de 30, 50 e 100% apresentaram resistência à compressão relativamente inferior ao traço de referência. Os resultados obtidos na pesquisa mostram que o resíduo de vidro pode ser utilizado na fabricação de concretos simples.

2.2.5. Reação Álcali-Agregados (RAA)

Um das grandes preocupações que se deve ter com os agregados para argamassas e concretos são as reações álcalis-agregados (RAA), que, é uma reação química que ocorre entre os íons alcalinos liberados durante a hidratação do cimento e determinados minerais reativos pertencentes ao agregado. Esta reação provoca a expansão heterogênea das argamassas e concretos, reduz importantes propriedades das argamassas e concretos, como as resistências à compressão e à tração e módulo de elasticidade, culminando com a redução da vida útil da estrutura.

Sabe-se que o vidro possui alto teor de sílica, em torno de 70% dependendo de sua utilização. Em contrapartida, o cimento segundo Penacho (2012), contém álcalis (sódio e potássio), quando esses elementos são combinados na presença de umidade, ocorre a reação álcali-sílica (RAS) de caráter expansivo, a qual pode prejudicar as propriedades das argamassas e concretos, como resistência e aderência.

Segundo Neville (2016), “A reação álcali-sílica é muito lenta, e suas consequências se manifestam somente após vários anos. As razões disso são complexas, e os mecanismos envolvidos, relacionados à concentração local dos vários íons, ainda são debatidos”.

Ainda segundo Neville (2016).

Apesar de ser possível prever a ocorrência da reação álcali-agregado com determinados materiais, geralmente não é possível estimar os efeitos deletérios a partir da determinação das quantidades isoladas do material reativo. Por exemplo, a real reatividade do agregado é afetada por sua dimensão e sua porosidade, que influenciam a área onde a reação pode ocorrer. Quando os álcalis são somente advindos do cimento, sua concentração na superfície reativa do agregado será ditada pelo tamanho de sua área superficial. Dentro de certos limites, a expansão do concreto produzido com um determinado agregado reativo será maior quanto maior for o teor de álcalis do cimento e, para um determinado teor de álcalis no cimento, a expansão será maior quanto mais fino for o cimento. Constituintes vítreos de mesma finura que o cimento não são prejudiciais, mas agem como uma pozolana.

Segundo VEIGA et al (1997) apud SABBAG (2003),

A RAA ocorre devido ao processo químico que provém da reação de alguns dos compostos mineralógicos do agregado com hidróxidos alcalinos originários do cimento, água de amassamento e agentes externos, os quais estão dissolvidos na solução dos poros de concreto. O produto resultante dessa reação é um gel expansivo na presença de umidade, podendo originar fissuras, aumento de permeabilidade, diminuição da resistência física e química e consequente ruptura da estrutura.

Já segundo SILVEIRA (1996) apud SABBAG (2003), existem algumas evidências que indicam a existência de RAA em estruturas de concreto, sendo as principais:

- Fissuras orientadas em forma de mapa;
- Eflorescência e exsudação de gel;
- Descoloração do concreto;
- Agregados graúdos com bordas de reação;
- Poros do concreto preenchidos total ou parcialmente, esbranquiçado com composição do gel e;
- Micro fissuração da argamassa com preenchimento de gel.

A Figura 2.23 apresentam o processo da RAA desde a formação do gel até a fissuração



O Brasil possui a ABNT NBR 15577 que trata sobre as RAA. Ela se divide em sete partes (Quadro 2.15) trazendo definições, explicações, ensaios e recomendações mitigadoras para se prevenir a RAA, através da norma é possível montar o Quadro 2.16 com as definições sobre a RAA.

Quadro 2.15 – ABNT NBR 15.577 - Agregados - Reatividade álcali-agregado

CÓDIGO	PARTES	DESCRIÇÃO
ABNT NBR 15577-1:2018	Parte 1	Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto.
ABNT NBR 15577-2:2018	Parte 2	Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto.
ABNT NBR 15577-3:2018	Parte 3	Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto.
ABNT NBR 15577-4:2018	Parte 4	Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.
ABNT NBR 15577-5:2018	Parte 5	Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.
ABNT NBR 15577-6:2018	Parte 6	Determinação da expansão em prismas de concreto.
ABNT NBR 15577-7:2018	Parte 7	Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado.

Fonte: Adaptado de ABNT (2018)

Quadro 2.16 – Termos e definições – reatividade álcali-agregado.

ITEM NBR	TERMO	DEFINIÇÃO
3.1	Agregado potencialmente inócuo	agregado que, quando ensaiado de acordo com o estabelecido nesta Norma, resulta em informações petrográficas que indicam a ausência ou presença pouco expressiva de fases reativas e valores de expansão menores que os limites estabelecidos nesta norma
3.2	Agregado potencialmente reativo	agregado que, quando ensaiado de acordo com o estabelecido nesta Norma, resulta em informações petrográficas que indicam a presença de fases reativas e valores de expansão maiores ou iguais aos limites estabelecidos nesta norma
3.3	Agregado reativo Agregado deletério	agregado que reage quimicamente com a solução alcalina contida nos poros do concreto ou aquele proveniente de fontes externas e que resulta em manifestações patológicas devidas à reação álcali-agregado
3.4	Álcalis	sais de sódio e/ou potássio, provenientes de qualquer fonte interna ou externa ao concreto, que, quando em contato com água são solubilizáveis imediatamente ou ao longo do tempo
3.5	Mitigação	abrandamento, redução ou atenuação dos efeitos da reação álcali-agregado
3.6	Reação álcali-agregado (RAA)	reação química que ocorre em argamassas ou concretos envolvendo os íons hidroxila (OH ⁻) associados com os componentes alcalinos sódio e potássio, provenientes do cimento Portland ou outras fontes, com certas fases minerais que podem estar presentes em agregados graúdos ou miúdos, que, sob certas condições, pode causar expansão deletéria do concreto ou argamassa. Há dois tipos principais de reação álcali-agregado, a reação álcali-sílica e a reação álcali-carbonato. A chamada reação álcali-silicato é reconhecida atualmente como um tipo lento de reação álcali-sílica
3.7	Reação álcali-carbonato (RAC)	reação entre hidróxidos alcalinos, provenientes do cimento Portland ou outras fontes, e certos agregados calcários dolomíticos argilosos, acompanhada de desdolomitização, que, sob certas condições, pode causar expansão deletéria do concreto ou argamassa. A reação dos agregados carbonáticos que resulta somente em desdolomitização, sem expansão deletéria, não é chamada de reação álcali-carbonato
3.8	Reação álcali-sílica (RAS)	reação entre hidróxidos alcalinos, provenientes do cimento Portland ou outras fontes com certas rochas silicosas ou minerais silicosos, como opalas, cherts, quartzo microcristalino, quartzo deformado, vidro vulcânico, vidros reciclados, e outras, presentes em alguns agregados, que gera, como produto da reação, gel álcali-sílica, que pode causar expansão anormal e fissuração do concreto em serviço

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15577-1 (2018).

A NBR 15577-1 também apresenta “A classificação de uma determinada estrutura, quanto à severidade e consequências da ocorrência da RAS em situação de serviço é o primeiro passo a ser seguido para o conjunto de ações necessárias para prevenção dessas manifestações patológicas” de acordo com Quadro 2.17.

Segunda a ABNT NBR 15577-6 os materiais mitigadores das RAS, “são quaisquer dos tipos de cimentos Portland, estando em combinação ou não com adições de materiais pozolânicos, sílica ativa, metacaulim ou outros”.

Conforme a ABNT NBR 15577-1, “A intensidade de uma medida preventiva da RAS é função do risco associado de sua ocorrência bem como da classe de importância da estrutura no que diz respeito às consequências ou danos ambientais, econômicos e de segurança”. Com isso a norma apresenta o Quadro 2.18 com a classificação da intensidade das medidas preventivas

Quadro 2.17 – Classificação da estrutura quanto a reação álcali-silica (RAS)

CLASSIFICAÇÃO DA ESTRUTURA	CONSEQUÊNCIAS DA RAS	EXEMPLOS
Classe A	Consequências pequenas ou insignificantes do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança.	Estruturas temporárias (menor que 5 anos de vida útil), elementos não expostos à umidade, elementos não estruturais no interior de edifícios, canteiros de obras.
Classe B	Consequências moderadas do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança apenas se ocorrer deterioração generalizada.	Calçadas, calhas, telhas, muros etc.
Classe C	Consequências significativas do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança mesmo se ocorrer pequena deterioração.	Pavimentos de concreto, elementos de fundação, tubos, postes, alvenarias de vedação, tubulões, barreiras de segurança, elementos pré-fabricados com altos custos de reposição, estradas de baixo volume de tráfego, dormentes etc.
Classe D	Consequências sérias e de gravidade do ponto de vista econômico, ambiental e de segurança mesmo se ocorrer pequena deterioração.	Grandes pontes, estádios, hidrelétricas, estruturas de obras de arte, barragens, instalações nucleares, torres eólicas, instalações de tratamento de água, instalações de tratamento de resíduos, túneis, elementos estruturais de difícil inspeção ou reparo.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15577-1 (2018)

Quadro 2.18 – Grau de intensidade da medida preventiva.

Risco de Ocorrência	Classe de estrutura			
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Desprezível			MP 0	MP 0
Mínimo		MP 0	MP 1	MP 2
Moderado	MP 0	MP 1	MP 2	MP 3
Alto		MP 3		
Muito alto		MP 4	MP 4	MP 4

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15577-1 (2018)

A partir da classificação da intensidade das medidas preventivas, são possíveis adotar medidas mitigadoras para prevenção quanto a RAS, a ABNT NBR 15577-1 informa que:

As medidas de mitigação da expansão provocadas pela reação de álcalis com agregados potencialmente reativos abrangem a limitação de álcalis no concreto e o uso de materiais inibidores adequados, ou ambos. Quando materiais inibidores forem usados, estes devem apresentar determinados requisitos ou características que levem à mitigação da expansão, comprovada pelos métodos de ensaio previstos na ABNT NBR 15577-5 ou ABNT NBR 15577-6.

A medida mitigadora apresentadas no

Quadro 2.19 são função da intensidade das medidas preventivas no Quadro 2.18.

Quadro 2.19 – Medidas de mitigação da expansão devida a RAS.

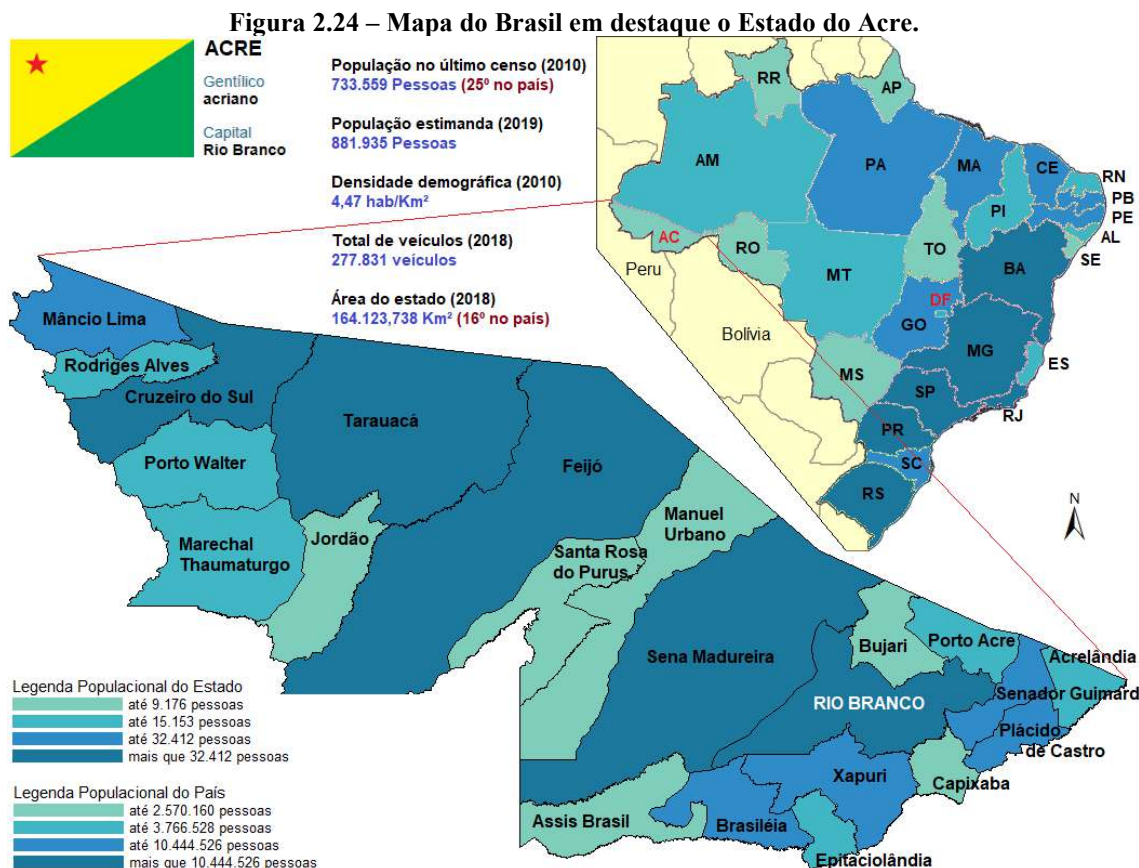
Grau de Intensidade da medida preventiva	Opção 1	Opção 2	Opção 3
MP 0	Nenhuma ação é necessária	Nenhuma ação é necessária	Nenhuma ação é necessária
MP 1	Limitar o teor de álcalis do concreto a valores menores que 2,4 kg/m ³ de Na ₂ O equivalente	Utilizar cimentos: <ul style="list-style-type: none"> • CP II-E ou CP II-Z, conforme a ABNT NBR 11578, ou • CP III, conforme a ABNT NBR 5735, ou • CP IV, conforme ABNT NBR 5736. 	Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de grau de intensidade 2.
MP 2	Utilizar cimento CP III, com no mínimo 60 % de escória, conforme ABNT NBR 5735.	Utilizar cimento CP IV com no mínimo 30 % de pozolana, conforme ABNT NBR 5736.	Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de grau de intensidade 3.
MP 3	Utilizar materiais inibidores comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio acelerado.	Utilizar materiais inibidores, comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio de prismas de concreto aos dois anos.	Usar uma das medidas mitigadoras previstas na ação preventiva de grau de intensidade 4.
MP 4	Utilizar materiais inibidores comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio acelerado.	Utilizar materiais inibidores, comprovando a mitigação da reatividade potencial pelo ensaio de prismas de concreto aos dois anos.	Trocar o agregado.

Fonte: Adaptado de ANBT NBR 15577-1 (2018)

Logo, informa-se, que, não foram realizados ensaios de detecção de reatividade dos agregados, porém preventivamente, adotou-se como ação mitigadora para a prevenção de RAS, no presente estudo, utilizou-se o Cimento Portland Composto CP II Z 32.

2.3. O ESTADO DO ACRE

O estado do Acre está situado na parte mais ocidental da Região Norte, mais precisamente no extremo sudoeste da Amazônia brasileira, possui fronteiras internacionais com Peru e Bolívia e divisas com os estados do Amazonas e Rondônia (Figura 2.24). O estado é o 16º estado do país em extensão territorial (164.123,738 Km²) e o 25º em densidade demográfica, com 4,47 habitantes por quilômetro quadrado, segundo o Censo de 2010 do IBGE.



Fonte: Adaptado de Censo do IBGE (2010).

Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/panorama>>. Acesso em: 03 set. 2019.

2.3.1. A Problemática Acreana para Elaborar de Concretos Estruturais

Os problemas enfrentados na elaboração de concretos estruturais no estado do Acre, são na verdade um somatório de fatores e condições específicas, que vão desde a localização geográfica até a composição do solo do estado.

Pode-se citar como primeiro fator, a formação geomorfológica, que, segundo Lani et al. (2012) “O Estado do Acre localiza-se sobre uma vasta bacia sedimentar contínua, que ocupa grande parte da região amazônica ocidental”. Com isso o estado não possui reservas de rochas adequadas a elaboração de concretos.

Como segundo ponto, cita-se a localização geográfica do estado, que está na região norte do país, mais precisamente na parte mais ocidental desta, o estado só possui acesso terrestre através da BR364, que é uma rodovia federal diagonal, orientada no sentido sudeste-noroeste, que se inicia em Limeira/SP, corta os estados Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Rondônia e chega ao Acre para ter seu fim na Cidade Mâncio Lima/AC, na Figura 2.25 é possível visualizar as principais vias do estado.

Map of Rio Branco, Acre, Brazil

Legend:

- Capital de Estado
- Cidade
- Aeroporto
- Porto
- Limite de Estado
- Principais rodovias
- Rios

Geographical Features:

- Neighboring States:** Amazonas, Rondônia, Bolívia
- Neighboring Countries:** Peru
- Rivers:** Rio Negro ou Içuruna, Rio Moa, Rio Tarauacá, Rio Enxera, Rio Purus, Rio Macaú, Rio Juruá, Rio Tejo, Rio Bru, Rio Acre, Rio Beni.
- Cities:** Mâncio Lima, Cruzeiro do Sul, Rodrigues Alves, Porto Walter, Marechal Thaumaturgo, Jordão, Santa Rosa do Purus, Bujari, Sena Madureira, Porto Acre, Senador Guimarães, Acrelândia, Príncipe de Castelo, Capixaba, Xapuri, Brasília, Epitaciolândia, Assis Brasil.
- Infrastructure:** Main roads (red lines), Airports (airplane icon), Ports (ship icon).

Scale: 0, 40, 80 km

IBGE Editado

Como o estado é uma bacia sedimentar, o mesmo não possui jazidas de rochas para a elaboração de concreto estrutural, recomendada pela ABNT, logo, todo o material britado vem do estado vizinho Rondônia, portanto, necessita-se comprar o material e ainda o transportar (Material + Frete), o que encarece ainda mais a elaboração do concreto.

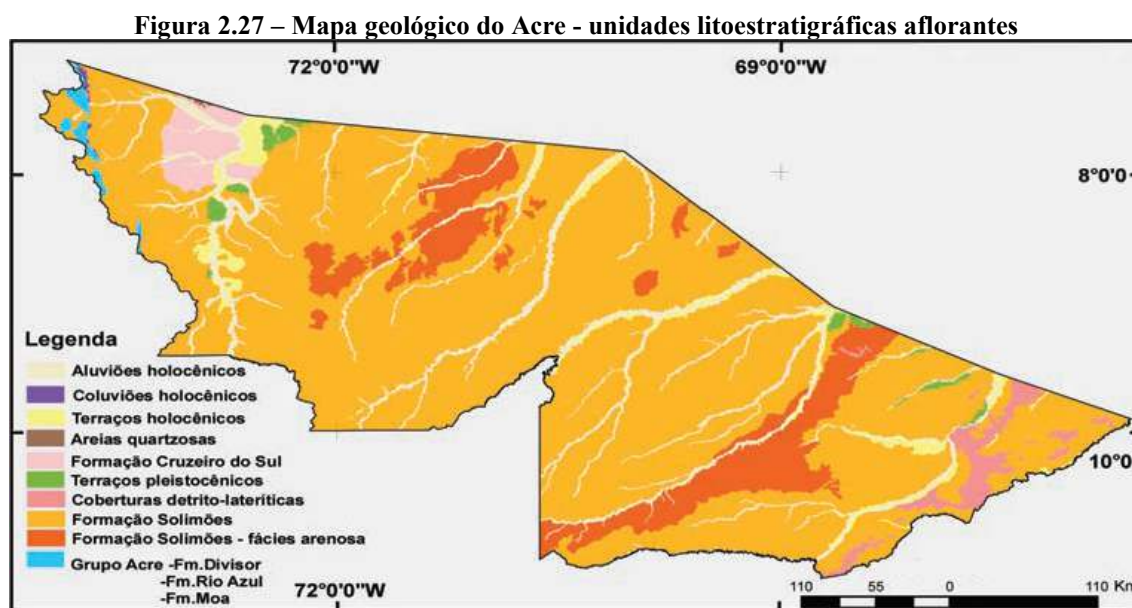
Legenda

Regionais

- Alto Acre
- Baixo Acre
- Juruá
- Purus
- Tarauacá/Envira

2.3.1.1. Formação Geológica do Estado do Acre

A fim de entender o material utilizado para elaboração de concreto no estado, necessita-se antes, conhecer a geologia do estado. A Secretaria de Meio ambiente do Acre (SEMA) apresenta na Figura 2.27 o mapa geológico do estado.



Fonte: ACRE (2010)

De acordo com a SEMA no Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre (ACRE, 2010).

As principais potencialidades no Estado, dentro da Formação Solimões (que é a principal formação geológica em termos de área de ocorrência) são a gipsita e argilas. ...a gipsita é consumida sob as formas bruta e beneficiada. Sob a forma bruta é utilizada pelos setores cimenteiro e agrícola. Sob a forma beneficiada, denominada gesso, é utilizada predominantemente pela indústria da construção civil na forma de pré-moldados, em revestimento de paredes e como elemento de decoração arquitetônica e, subordinadamente, pelos setores ceramista, odontológico, médico e de adereços (joalheria). ...as argilas. Alguns testes realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) indicam boa qualidade. Pela característica litológica da Formação Solimões pode haver um volume compatível para exploração mesmo em nível local.

Em ambos os casos a SEMA informa haver necessidade de melhores estudos, através de prospecção e definições do volume exploratório, para determinar o potencial exploratório e de recuperação do meio ambiente, em função da fonte energética disponível na região e da demanda do mercado consumidor, consequentemente, se poderá diminuir o consumo de matéria-prima vindas de outros estados.

Ainda segundo a SEMA (ACRE, 2010).

Desde os anos 80, com a investida governamental para construção de rodovias, a atenção voltou-se para a necessidade de se obter material utilizado na construção civil no Acre pela ausência de rocha dura no Estado.

Por outro lado, a descoberta das coberturas lateríticas na região e a utilização desse material em outras regiões da Amazônia e em alguns locais do Nordeste, fez com que se desse a devida atenção à questão.

Formação Cruzeiro do Sul

Nessa unidade há uma grande quantidade de areias, o que possibilita sua exploração. As atividades contam com a fiscalização do IMAC¹. O material retirado é de excelente qualidade, além de apresentar variedade de aplicações em função de variação granulométrica (as areias vão de muito finas a conglomeráticas).

Terraços holocênicos e pleistocênicos

Em determinados locais do Estado, as unidades de terraços apresentam grande volume de areia. Nos municípios do Baixo e Alto Acre, são amplamente exploradas e tais atividades são regularizadas e fiscalizadas pelo IMAC, ou estão em processo de regularização. Há retirada regular de areia também em Feijó, Tarauacá e Manoel Urbano. Mais uma vez ressalta-se que toda exploração deve ser sustentada por avaliações preliminares onde se verificam a disponibilidade do recurso, a possibilidade de extração, a relação custo-benefício e, principalmente, os impactos gerados no ambiente por conta da exploração.

Como visto, o estado não possui material rochoso para ser utilizado como agregado para a construção civil. Fazendo com que seja necessário a aquisição de tal material, de pedreiras, do estado vizinho Rondônia. O que encarece o preço final do concreto, pois, acrescenta-se ao valor, o preço do frete.

2.3.1.2. Granulometria da Areia do Rio Acre

O agregado miúdo (areia) utilizado nas regionais do alto e baixo acre é extraído do Rio Acre por dragagem, como visto na Figura 2.28.

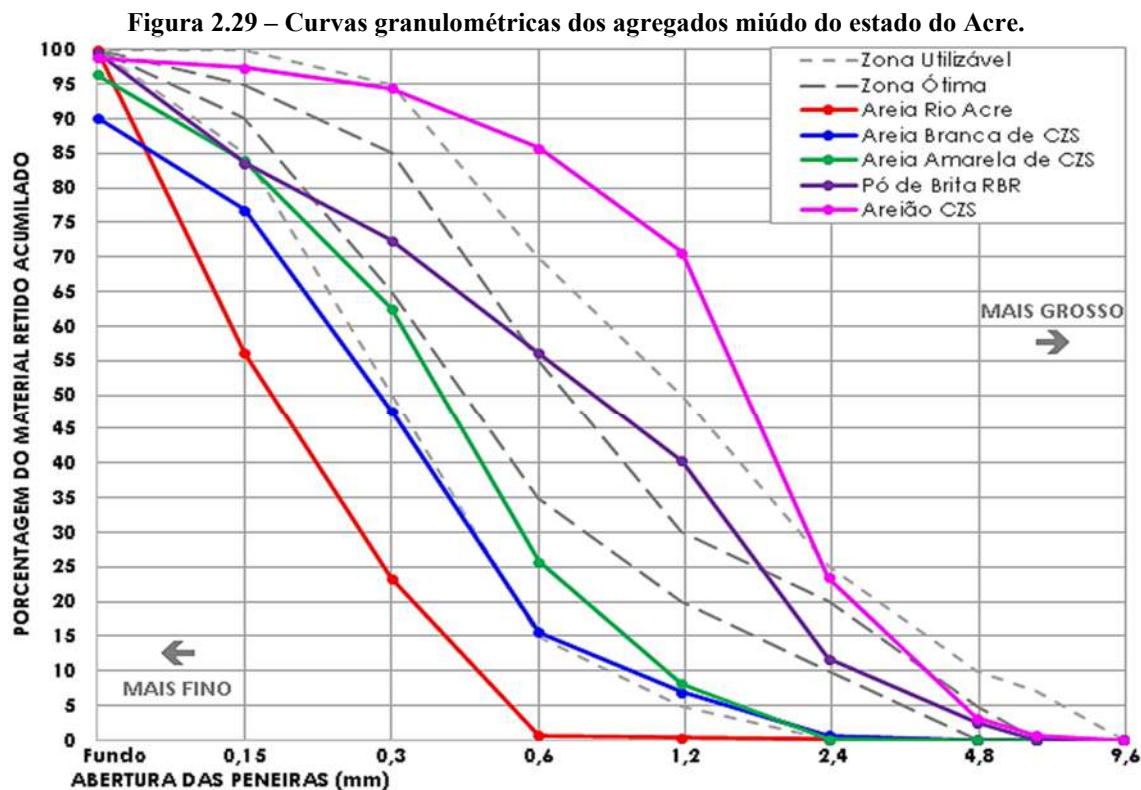
A areia do Rio Acre é considerada muito fina, como pode ser visto nas curvas granulométricas da Figura 2.29, que apresenta as curvas granulométricas definidas pela ABNT NBR NM 248, dos agregados miúdos disponíveis no estado do Acre.

Figura 2.28 – Dragagem de extração de areia no Rio Acre.



Fonte: Própria (2011).

¹ IMAC – Instituto de Meio Ambiente do Acre



Fonte: Adaptado de SILVA (2018) e Laboratório de Materiais da UFAC (2019)

Apenas a nível de informação, Silva (2018) elaborou estudo na regional Juruá, e verificou que as areias comercializadas, naquela regional, são extraídas de jazidas, o mesmo realizou estudo no município de Cruzeiro do Sul/AC, segunda maior cidade do estado do Acre, ensaiando a granulometria das areias comercializadas naquele município. A Figura 2.29, também, apresenta as curvas granulométricas definidas pela ABNT NBR NM 248, junto das zonas utilizáveis e ótimas para os agregados miúdos, bem como, as curvas granulométricas das areias do estudo de Silva (2018), nomeadas: areia branca, areia amarela e areião, apresenta-se, ainda, a areia do Rio Acre para comparativo.

É possível melhorar as propriedades do concreto estrutural, utilizando o pó de pedra (chamando no estado de pó de brita), contudo, como dito anteriormente, materiais de origem britados são oriundos do estado vizinho Rondônia, o que acaba por encarecer o concreto.

2.3.2. Reciclagem de Vidro no Acre

Segundo a Prefeitura Municipal de Rio Branco (PMRB), capital do estado, ter inaugurado em 23 de outubro de 2009, a UTRE (Unidade de Tratamento de Resíduos Sólidos), Figura 2.30, que, é um complexo de armazenamento de resíduos sólidos, em formato de aterro sanitário, com cerca de 80 hectares disponíveis, distante em torno de 20km do centro da cidade,

que conta com uma central de recebimento de pneus (Figura 2.33); unidade de triagem e compostagem; central de podas e resíduos madeireiros; unidade de tratamento de resíduos de serviços da saúde; disposição final (Figura 2.31 e Figura 2.32), entre vários outros dispositivos e investimentos. A UTRE também previu o tratamento dos resíduos da construção civil, com a instalação de recicladoras de RCD (Figura 2.34), e tratadores que separam os componentes dos resíduos, para reaproveitamento o máximo possível. Porém, a unidade de tratamento do RCD, desde a sua inauguração em 2009, passou boa parte do tempo desativada ou inoperante, por falta de manutenção dos equipamentos ou, mesmo, devido à distância de 20km da UTRE para o centro da cidade, que fazia as empresas da construção civil buscar outras maneiras de descarte do RCD, sendo em sua grande maioria, encaminhando o entulho de obra para o Aterro de Inertes da Capital, que se encontra mais próximo a zona urbana da cidade. O que se sabe é que a PMRB está transferindo a unidade de tratamento do RCD da UTRE para o aterro de inertes da capital, o aterro já funcionava a época de inauguração da UTRE e possui material abundante para ser tratado, as recicladoras tem previsão de serem reativadas a partir do 2º semestre de 2020.

Figura 2.30 – Unidade de Tratamento de Resíduos Sólidos de Rio Branco (UTRE/RB).



Fonte: Prefeitura Municipal de Rio Branco. Disponível em: <http://www.riobranco.ac.gov.br/index.php/noticias/noticias-itens/ultimas-noticias/2582-utrecatarplasacre.html> >. Acesso em: 22 out. 2019.

Figura 2.31 – Visão geral de unidade de disposição de resíduos domésticos, UTRE/RB.



Fonte: Facebook. Disponível em: < <https://pt-br.facebook.com/pages/Unidade-De-Tratamento-De-Residuos-Solidos-Utre/548668778546416> >. Acesso em: 22 out. 2019.

Figura 2.32 – Visão geral de unidade de disposição de resíduos domésticos, UTRE/RB.



Fonte: Facebook. Disponível em: < <https://pt-br.facebook.com/pages/Unidade-De-Tratamento-De-Residuos-Sólidos-Utre/548668778546416> >. Acesso em: 22 out. 2019.

Figura 2.33 – Armazenagem de pneus descartados, UTRE/RB.



Fonte: Prefeitura Municipal de Rio Branco. Disponível em: <http://www.riobranco.ac.gov.br/index.php/noticias/noticias-itens/ultimas-noticias/14632-ecoponto-do-conjunto-tucumã-já-deu-destinação-certa-a-mais-de-50-toneladas-de-residuos> >. Acesso em: 22 out. 2019.

Figura 2.34 – Recicladoras de resíduos da construção civil, UTRE/RB.



Fonte: Prefeitura Municipal de Rio Branco. Disponível em: <http://www.riobranco.ac.gov.br/index.php/noticias/noticias-itens/ultimas-noticias/2582-utrecatarplasacre.html> >. Acesso em: 22 out. 2019.

Infelizmente, nem tudo são flores, assim como em outras regiões do país o Estado do Acre não possui programa para reciclagem do vidro expressivo. Apesar de grande parte dos

vidros serem recicláveis, em Rio Branco o vidro é descartado com os rejeitos orgânicos. Existem trabalhos de artesanato (Figura 2.35) porém também em pequena escala.

Figura 2.35 – Vidro fusão, técnica que reaproveita garrafas e restos de vidraçaria.



Fonte: G1. Disponível em: < <http://g1.globo.com/ac/acre/noticia/2013/09/artesaos-exibem-tecnicas-de-reciclagem-durante-conferencia.html> >. Acesso em: 22 out. 2019.

Devido à falta de tratamento adequado para a resíduo de vidro no estado do Acre, qualquer estudo que se proponha a utilizar o vidro como matéria-prima visando reaproveitamento e dando um destino sustentável ao mesmo, deve ser observado.

2.4. INSUMOS PARA CONCRETO

Outra problemática acreana está nos preços dos insumos do concreto. Como visto a formação geológica acreana não possui composição rochosa, logo, o agregado graúdo que representa cerca de 3/4 do volume do concreto vem de outros estados, o agregado miúdo acreano não se enquadra na granulometria recomendada pelas normas brasileira, porém com material mais disponível, ainda assim é utilizado. O cimento portland comercializado no estado, também, é produzido fora do mesmo.

Porém, antes de se saber o preço dos componentes do concreto convencional e estrutural, praticado no Acre, faz-se necessário conhecer os componentes como são comercializados e como são apresentados na construção civil, os insumos para concreto.

A base de dados oficial do Brasil para preços de insumos e serviços de obras, é o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que é uma produção conjunta entre Caixa Econômica Federal (CAIXA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

2.4.1. Sistema Nacional de Índices da Construção Civil - SINAPI

O Brasil usa como base de dados oficial para orçamentação o SINAPI, Segundo a CAIXA o SINAPI possui como objetivo:

...a produção de séries mensais de custos e índices para o setor habitacional, e de séries mensais de salários medianos de mão de obra e preços medianos de materiais, máquinas e equipamentos e serviços da construção para os setores de saneamento básico, infraestrutura e habitação. O Sistema é uma produção conjunta do IBGE e da Caixa Econômica Federal - Caixa, realizada por meio de acordo de cooperação técnica, cabendo ao Instituto a responsabilidade da coleta, apuração e cálculo, enquanto à CAIXA, a definição e manutenção dos aspectos de engenharia, tais como projetos, composições de serviços etc. As estatísticas do SINAPI são fundamentais na programação de investimentos, sobretudo para o setor público. Os preços e custos auxiliam na elaboração, análise e avaliação de orçamentos, enquanto os índices possibilitam a atualização dos valores das despesas nos contratos e orçamentos.

Com a finalidade de realizar um comparativo de preços unitários de insumos, serão levados em considerações os competentes do concreto, que são os seguintes insumos: cimento portland mais comercializado no acre, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita comercial), estabelecidos pelo SINAPI.

Segunda a CAIXA (2020),

Nos relatórios publicados na página da CAIXA, o usuário do SINAPI tem à disposição a informação da origem de preços para cada insumo por localidade, sendo oportuno observar a seguinte notação no relatório de insumos:

- **C - Coletado:** Correspondente a preço coletado pelo IBGE adotado para o mês de referência do relatório;
- **CR - Coeficiente de Representatividade:** Correspondente a preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo (metodologia família homogênea de insumos);
- **AS - Atribuído São Paulo:** Correspondente a preço atribuído com base no preço do insumo para a localidade de São Paulo (devido à impossibilidade de definição de preço para localidade em função da insuficiência de dados coletados).

Em decorrência da origem de preço para os insumos, a composição tem seu custo indicado com a seguinte origem de preço, no relatório de composições:

- **C - Coletado:** Quando todos os itens utilizados na composição têm preço coletado pelo IBGE ou Coletado CAIXA (quando indicado na descrição do insumo) adotado para o mês de referência do relatório;
- **CR - Coeficiente de Representatividade:** Quando existe ao menos um item da composição com preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo, desde que não haja nenhum item com preço atribuído;
- **AS - Atribuído São Paulo:** Quando existe ao menos um item da composição com preço atribuído com base no preço de insumo para a localidade de São Paulo.

2.4.2. Composição Concreto Estrutural

Para o concreto comum estrutural o SINAPI apresenta composições baseadas na resistência característica a compressão, que podem ser de fck: 20MPa, 25MPa, 30MPa e 40MPa; e também na capacidade volumétrica da betoneira: 400l e 600l. A Figura 2.24 apresenta as composições do SINAPI para o concreto estrutural com preparo mecânico utilizando betoneira de capacidade de 400l. Já a Tabela 2.8 apresenta as composições do SINAPI para o concreto estrutural com preparo mecânico utilizando betoneira de capacidade de 600l.

Tabela 2.7 - Concreto estrutural preparo mecânico com betoneira de capacidade de 400l.

94964 - Concreto fck=20MPa, traço 1:2,7:3,0 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. Af_07/2016 - M3							
94965 - Concreto fck=25MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. Af_07/2016 - M3							
94966 - Concreto fck=30MPa, traço 1:2,1:2,5 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. Af_07/2016 - M3							
94967 - Concreto fck=40MPa, traço 1:1,6:1,9 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 400 l. Af_07/2016 - M3							
TIPO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID.	94964 20MPa	94965 25MPa	94966 30MPa	94967 40MPa
Insumo	370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3	0,7558	0,723	0,708	0,675
Insumo	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG	322,98	362,66	388,88	486,85
Insumo	4721	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3	0,587	0,593	0,589	0,561
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	2,53	2,31	2,3	2,44
Composição	88377	Operador de betoneira estacionária/misturador com encargos complementares	H	1,6	1,46	1,45	1,54
Composição	88830	Betoneira capacidade nominal de 400 l, capacidade de mistura 280 l, motor elétrico trifásico potência de 2 cv, sem carregador - chp diurno. Af_10/2014	CHP	0,83	0,75	0,75	0,79
Composição	88831	Betoneira capacidade nominal de 400 l, capacidade de mistura 280 l, motor elétrico trifásico potência de 2 cv, sem carregador - chi diurno. Af_10/2014	CHI	0,78	0,71	0,7	0,75

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

Tabela 2.8 - Concreto estrutural preparo mecânico com betoneira de capacidade de 600l.

94970 - Concreto fck=20MPa, traço 1:2,7:3,0 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 600 l. Af_07/2016 - M3							
94971 - Concreto fck=25MPa, traço 1:2,3:2,7 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 600 l. Af_07/2016 - M3							
94972 - Concreto fck=30MPa, traço 1:2,1:2,5 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 600 l. Af_07/2016 - M3							
94973 - Concreto fck=40MPa, traço 1:1,6:1,9 (cimento/ areia média/ brita 1) - preparo mecânico com betoneira 600 l. Af_07/2016 - M3							
TIPO	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID.	94970 20MPa	94971 25MPa	94972 30MPa	94973 40MPa
Insumo	370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3	0,761	0,727	0,712	0,68
Insumo	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG	325,16	364,94	391,17	490,35
Insumo	4721	Pedra britada n. 1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3	0,591	0,597	0,5927	0,565
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	2,03	1,98	1,96	2,03
Composição	88377	Operador de betoneira estacionária/misturador com encargos complementares	H	1,28	1,25	1,24	1,28
Composição	89225	Betoneira capacidade nominal de 600 l, capacidade de mistura 360 l, motor elétrico trifásico potência de 4 cv, sem carregador - chp diurno. Af_11/2014	CHP	0,66	0,64	0,64	0,66
Composição	89226	Betoneira capacidade nominal de 600 l, capacidade de mistura 360 l, motor elétrico trifásico potência de 4 cv, sem carregador - chi diurno. Af_11/2014	CHI	0,62	0,61	0,61	0,62

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

2.4.3. Insumos do Concreto Estrutural

Como visto, nas composições do SINAPI de concreto comum estrutural, são 3 (três) os insumos que fazem parte de destas composições: Cimento Portland Composto CP II-32, Areia média, e Pedra Britada nº 1 (Brita 1).

Porém, como visto no subcapítulo 2.9 deste, a areia utilizada na regional do baixo acre é extraída por dragagem do Rio Acre, a mesma possui uma granulometria muito fina, causando uma deficiência de partículas grandes no agregado miúdo.

Já a brita utilizada no estado do Acre, vem do estado vizinho, Rondônia, visto que o Acre se encontra em uma bacia sedimentar, onde não há jazida de material britado, o que faz o preço comercial da brita se elevar devido ao frete. Isto dificulta a aplicação das afirmações do subcapítulo 2.3, onde se informa que uma das funções dos agregados é “econômica”, ou seja, ajudar a preencher espaços para reduzir o consumo de aglomerante (cimento), visto que este, em geral, por ser um produto industrializado, possui o preço mais elevado. Logo no estado do acre o agregado graúdo também é “caro”.

É possível afirmar, também, que as composições do SINAPI utilizadas no estado do Acre, não condizem com a realidade dos materiais utilizados para fazer concreto no estado. Lembrando, com exceção da Regional do Juruá, onde existe agregado miúdo de jazidas, que se enquadram na granulometria da ABNT NBR 7211.

2.4.3.1. Insumo - Cimento Portland

São comercializados vários tipos de cimento portland no estado do Acre. Os mais fáceis de serem encontrados no comércio são os CP II Z e CP IV, logo, estes terão os preços comparados. A Tabela 2.9 são apresentados os tipos de cimentos portland precificados no SINAPI (2019). Para o estudo de dosagem será utilizado o cimento Portland, CP II Z 32, do fabricante CIPLAN Cimentos. Não é comercializado cimento a granel no estado do Acre.

Tabela 2.9 - Tipos de cimentos portland do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG
02	10511	Cimento portland composto CP II -32 (saco de 50 kg)	50KG
03	13284	Cimento portland de alto forno (AF) CP III-32	KG
04	25974	Cimento portland estrutural branco CPB-32	KG
05	34753	Cimento portland pozolânico CP IV -32	KG
06	1382	Cimento portland pozolânico CP IV- 32 (saco de 50 kg)	50KG

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

2.4.3.2. Insumo - Agregado Miúdo (areia e pó de brita)

O SINAPI apresenta em seu catálogo de insumos, 7 (sete) tipologias de areias e 2 (dois) tipos de agregados miúdos em pó, conforme a Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Tipos de areias do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	369	Areia amarela, areia barrada ou arenoso (retirada no areal, sem transporte)	M3
02	366	Areia fina - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
03	367	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
04	370	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
05	368	Areia para aterro - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
06	11075	Areia para leito filtrante (0,42 a 1,68 mm) - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
07	11076	Areia preta para emboco - posto jazida/fornec. (retirado na jazida, sem transp.)	M3
08	11096	Pó de mármore (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	KG
09	4741	Pó de pedra (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	M3

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

Porém, não foi identificado, em nenhum outro documento da CAIXA, a classificação granulométrica destes agregados miúdos, levando a crer, que a CAIXA utiliza a classificação da ABNT NBR 7211, porém a versão de 1983. É possível perceber que o SINAPI não apresenta insumos de areia “muito fina”, na qual melhor se enquadraria a areia do Rio Acre.

2.4.3.3. Insumo - Agregado Graúdo (brita)

Já para o agregado graúdo o SINAPI apresenta em seu catálogo de insumos várias tipologias, sendo que as mais comuns utilizadas para construção, podem ser resumidas em 6 (seis) tipologias, conforme a Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Tipos de areias do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	4720	Pedra britada n.0 ou pedrisco (4,8 a 9,5mm) posto pedreira/fornec., sem frete	M3
02	4721	Pedra britada n.1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
03	4718	Pedra britada n.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
04	4722	Pedra britada n.3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
05	4723	Pedra britada n.4 (50 a 76 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
06	4727	Pedra britada n.5 (76 a 100 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

É possível afirmar que o agregado graúdo mais utilizados para concretos estruturais são as pedras britadas: nº0, nº1 e nº 2. Em virtude da dificuldade de mistura do concreto com agregados mais robustos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de proporcionar o maior entendimento desta pesquisa, a mesma será dividida duas etapas:

- Levantamento Preços dos Insumos para concreto
- Planejamento Experimental

3.1. PARCEIROS DOS ESTUDOS

Antes de descrever a metodologia, cabe agradecer e apresentar os parceiros que tornaram o estudo possível, independente do “tamanho do apoio”, sem eles nada seria possível.

Para a realização dos trabalhos e estudos foram integrados parceiros, inclusive de outros estados, que se faz questão de enfatizar e agradecer o apoio, são eles:

3.1.1. PRS – Processadora de Resíduos Sólidos – Porto Velho/RO

A empresa PRS (Figura 3.1), fornecedora do vidro triturados utilizado nos estudos, cabe ressaltar que a empresa é uma grande apoiadora de estudos, apresentando em seu site oficial: <https://prsrecicladora.com.br/>, inúmeras produções acadêmicas.

Contatos da Empresa PRS – Processadora de Resíduos Sólidos – Porto Velho/RO

- Telefone: (69) 98113-1760 – Diretor-Técnico: Naraiel Ferrari;
- E-mail: contato@prsrecicladora.com.br;
- Endereço: Estrada da Areia Branca, Km 5 – Porto Velho/RO.

Figura 3.1 – PRS – Processadora de Resíduos Sólidos – Porto Velho/RO.



Fonte: PRS Recicladora. Disponível em: < <https://prsrecicladora.com.br/> >. Acesso em: 22 maio. 2021.

3.1.2. Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC)

A Fundação de Tecnologia do Estado do Acre – FUNTAC (Figura 3.2), foi fundada através da Lei nº 871, de 24 de setembro de 1987 e é uma pessoa jurídica de direito público, dotada de autonomia financeira, funcional e administrativa. Tem como objetivo geral colaborar com o desenvolvimento científico e tecnológico dos setores público e privado bem como de comunidades tradicionais, do Estado do Acre (FUNTAC, 2021).

A mesma possui vários laboratórios de estudos, como por exemplo: estudos de solo para pavimentos, estudos de concretos e argamassas, madeiras dentre outros. Para o estudo utilizou-se do Laboratório de Tecnologia do Concreto e Argamassa (Figura 3.3).

Figura 3.2 – Sede da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre – FUNTAC.



Fonte: FUNTAC (2021).

Figura 3.3 – Laboratório de Tecnologia do Concreto e Argamassa da FUNTAC.



Fonte: Própria (2021).

Na FUNTAC foram realizados os rompimentos dos corpos de prova com 7 e 28 dias das concretagens. Cabe agradecer, o total apoio, sem custo algum, dado pela instituição e por seus funcionários, tanto na realização dos ensaios, quanto nas orientações refinadas ao estudo.

3.1.3. Universidade Federal do Acre (UFAC)

Por fim, a UFAC (Figura 3.4 e Figura 3.5), através do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFAC, onde foram realizados a maioria dos ensaios de laboratório. O laboratório de materiais de construção foi construído para atender as demandas do curso de bacharelado em engenharia civil da UFAC, curso fundado em 1994.

Figura 3.4 – Universidade Federal do Acre – UFAC – Campus Rio Branco.



Fonte: UFAC. Disponível em: < <http://www.ufac.br/site/noticias/2020/edital-da-ufac-contempla-acoes-online-de-extensao-universitaria> >. Acesso em: 22 maio, 2021.

Figura 3.5 – Universidade Federal do Acre – UFAC – Campus Rio Branco.



Fonte: UFAC. Disponível em: < <http://www.ufac.br/> >. Acesso em: 22 maio, 2021.

3.2. LEVANTAMENTO DOS PREÇOS DE INSUMOS PARA CONCRETO

Apesar de ser uma parte relativamente curta, levantar os preços praticados no estado do Acre, pela planilha de preços de insumos pública (SINAPI), para posterior comparação nos resultados desta pesquisa, serve para demonstrar a disparidade dos preços dos insumos para concreto no estado do Acre, as problemáticas acreanas foram apresentadas em subcapítulos anteriores deste trabalho, logo, esta etapa serve para dar subsídio na tentativa de melhorar os concretos acreanos, que são caros e de qualidade inferior se comparado aos concretos de outros estados, pois usa-se areia muito fina, agregado graúdo e cimentos importados de outros estados.

Para levantar os preços serão utilizados a planilhas do SINAPI, fornecidas pela CAIXA, em seu sítio digital. O período que será utilizado para análise dos preços dos insumos para concreto compreende o período de janeiro a dezembro do ano de 2019.

Com a finalidade de demonstrar a grande diferença de preços de insumos para elaboração de concreto no estado do Acre serão coletados pra comparação os preços, os preços nos seguintes estados:

- **Acre:** Estado onde o estudo será realizado;
- **Rondônia:** Estado vizinho e fornecedor de insumos para o Acre;
- **Brasília:** Capital do país;
- **São Paulo:** Estado mais industrializado do país;
- **Pará:** Estado onde este estudo será apresentado.

Também se deve levar em consideração a origem do preço unitários que será compara, como será utilizado o SINAPI a CAIXA já apresenta as considerações quanto a origem do preço unitário, segunda a CAIXA (2020):

Nos relatórios publicados na página da CAIXA, o usuário do SINAPI tem à disposição a informação da origem de preços para cada insumo por localidade, sendo oportuno observar a seguinte notação no relatório de insumos:

- **C - Coletado:** Correspondente a preço coletado pelo IBGE adotado para o mês de referência do relatório;
- **CR - Coeficiente de Representatividade:** Correspondente a preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo (metodologia família homogênea de insumos);
- **AS - Atribuído São Paulo:** Correspondente a preço atribuído com base no preço do insumo para a localidade de São Paulo (devido à impossibilidade de definição de preço para localidade em função da insuficiência de dados coletados).

Em decorrência da origem de preço para os insumos, a composição tem seu custo indicado com a seguinte origem de preço, no relatório de composições:

- **C - Coletado:** Quando todos os itens utilizados na composição têm preço coletado pelo IBGE ou Coletado CAIXA (quando indicado na descrição do insumo) adotado para o mês de referência do relatório;
- **CR - Coeficiente de Representatividade:** Quando existe ao menos um item da composição com preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo, desde que não haja nenhum item com preço atribuído;
- **AS - Atribuído São Paulo:** Quando existe ao menos um item da composição com preço atribuído com base no preço de insumo para a localidade de São Paulo.

3.2.1. Especificação dos Insumos Precificados

Como dito anteriormente, a comparação dos preços entre os estados tem por finalidade apresentara a situação atípica do Acre. Também, dito anteriormente, será utilizado os insumos do SINAPI da CAIXA, porém, o SINAPI possui inúmeros insumos, logo deve-se reduzir para os mais utilizados para a produção de concreto convencional.

3.2.1.1. Preços do Cimento portland

Como dito anteriormente para o cimento será utilizado neste trabalho o CP IV 32, o SINAPI de 2019 apresenta vários tipos de cimentos portland, a Tabela 3.1 mostra todos os tipos de cimentos portland apresentados pelo SINAPI, já a Tabela 3.2 apresenta os tipos de cimento portland que terão seus preços comparados.

Tabela 3.1 - Tipos de cimentos portland do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG
02	10511	Cimento portland composto CP II -32 (saco de 50 kg)	50KG
03	13284	Cimento portland de alto forno (AF) CP III-32	KG
04	25974	Cimento portland estrutural branco CPB-32	KG
05	34753	Cimento portland pozolânico CP IV -32	KG
06	1382	Cimento portland pozolânico CP IV- 32 (saco de 50 kg)	50KG

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

Tabela 3.2 - Tipos de cimentos portland do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	1379	Cimento portland composto CP II-32	KG
02	34753	Cimento portland pozolânico CP IV -32	KG
03	10511	Cimento portland composto CP II -32 (saco de 50 kg)	50KG
04	1382	Cimento portland pozolânico CP IV- 32 (saco de 50 kg)	50KG

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

3.2.1.2. Preços Agregado Miúdo

Já para o agregado miúdo, utiliza-se analogia semelhante ao cimento, a Tabela 3.3 mostra vários agregados miúdos apresentados na tabela do SINAPI e a Tabela 3.4 mostra os insumos que terão seus preços comparados.

Tabela 3.3 - Tipos de agregado miúdo do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	369	Areia amarela, areia barrada ou arenoso (retirada no areal, sem transporte)	M3
02	366	Areia fina - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
03	367	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
04	370	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
05	368	Areia para aterro - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
06	11075	Areia para leito filtrante (0,42 a 1,68 mm) - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
07	11076	Areia preta para emboco - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
08	11096	Pó de mármore (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	KG
09	4741	Pó de pedra (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	M3

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

Tabela 3.4 - Tipos de agregado miúdo do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	366	Areia fina - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
02	367	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
03	370	Areia media - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	M3
04	4741	Pó de pedra (posto pedreira/fornecedor, sem frete)	M3

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

3.2.1.3. Preços Agregado Graúdo

Mais uma vez utiliza-se analogia semelhante ao cimento, para o agregado graúdo, a Tabela 3.5 mostra vários agregados graúdos apresentados na tabela do SINAPI e a Tabela 3.6 mostra os insumos que terão seus preços comparados.

Tabela 3.5 – Tipos de pedra britada do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	4720	Pedra britada n.0 ou pedrisco (4,8 a 9,5mm) posto pedreira/fornecedor, s/ frete	M3
02	4721	Pedra britada n.1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
03	4718	Pedra britada n.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
04	4722	Pedra britada n.3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
05	4723	Pedra britada n.4 (50 a 76 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
06	4727	Pedra britada n.5 (76 a 100 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

Tabela 3.6 – Tipos de pedra britada do catálogo de insumos do SINAPI

Nº	CÓDIGO	INSUMO	UNIDADE
01	4720	Pedra britada n.0 ou pedrisco (4,8 a 9,5mm) posto pedreira/fornec., sem frete	M3
02	4721	Pedra britada n.1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
03	4718	Pedra britada n.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3
04	4722	Pedra britada n.3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	M3

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019).

3.2.2. Medidas de Tendência Central e Relação em Porcentagem

Para comparar os preços unitários dos insumos, tomou-se os conceitos da estatística utilizando-se as medidas de tendências central.

3.2.2.1. Medidas de Tendência Central

A comparação dos preços entre os estados apresentará a realidade atípica do Acre. Para se fazer a correta comparação de preços dos insumos, deve-se considerar as medidas de tendências central utilizadas na estatística, o Quadro 3.1 apresenta as medidas de tendências central utilizadas para os comparativos dos preços dos insumos entre os estados e distrito mencionados anteriormente: Acre, Brasília, Pará, Rondônia e São Paulo. Mesmo verificando-

se as medidas de tendências dos preços dos insumos, a análise humana para escolha dos preços a ser comparado ainda é insubstituível.

Quadro 3.1 – Medidas de tendência Central

MEDIDAS DE TENDÊNCIAS	DESCRIÇÃO
MÉDIA ARITMÉTICA	É o resultado da soma de todas as informações de um conjunto de dados dividida pelo número de informações que foram somadas.
MEDIANA	Se o conjunto de informações for numérico e estiver organizado em ordem crescente ou decrescente, a sua mediana será o número que ocupa a posição central da lista.
MODA	É chamado de moda o dado mais frequente de um conjunto.
MENOR	É o menor valor da amostra de dados.
MAIOR	É o maior valor da amostra de dados.

Fonte: Adaptado de Brasil Escola (2020).

3.2.2.2. Relação em Porcentagem

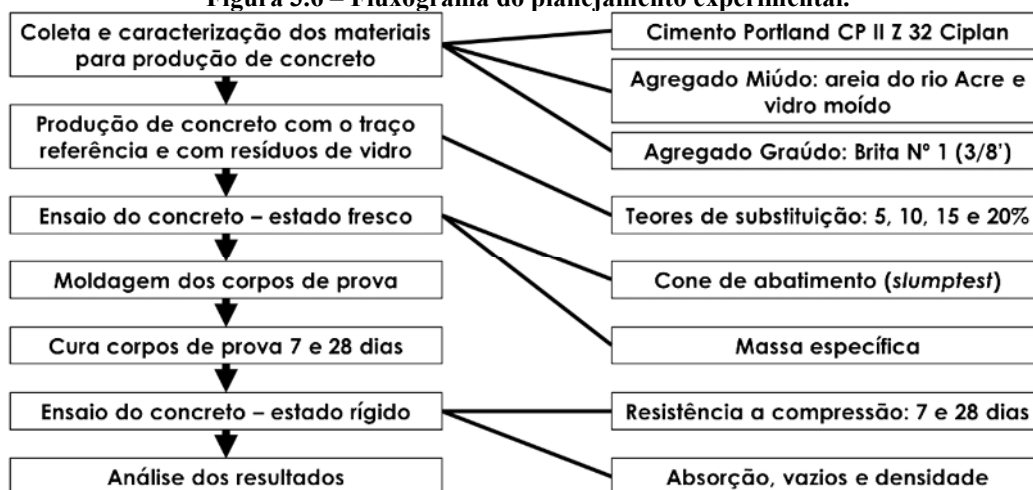
Para visualizar a diferença de preços dos insumos optou-se por relacionar os preços dos insumos no estado do Acre como o principal, assim, tem-se os preços dos insumos de outros estados como dividendo e os preços dos insumos do Estado do Acre como o divisor, colocando-os em porcentagem, logo, verifica-se a porcentagem de aumento ou redução dos preços dos insumos de outros estados em relação aos preços dos insumos do Estado do Acre. A equação 6 apresenta como será a relação entre os preços. caso a porcentagem seja negativa, ou seja, “menos”, significa que o preço do insumo está menor que no Estados do Acre, caso a porcentagens seja positiva, ou seja, “mais”, significa que o preço do insumo está maior que no Estado do Acre.

$$Relação = 1 - \frac{Preço\ do\ Insumo\ Estados}{Preço\ do\ Insumo\ Acre} \times 100\% \quad \text{equação 6}$$

3.3. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental, antecede a etapa da prática dos ensaios e análise dos materiais a serem empregados, essa etapa é onde se coloca a “mão na massa”, para ser executada de maneira correta e para facilitar o entendimento, pode ser verificar as etapas do planejamento experimental conforme o fluxograma da Figura 3.6.

Figura 3.6 – Fluxograma do planejamento experimental.



Fonte: Própria

3.3.1. Caracterização Dos Materiais

Os materiais a serem caracterizados são os agregados miúdos, que englobam areia do Rio Acre e vidro moído; agregado graúdo (brita 1); e cimento portland CP II Z 32. Os ensaios de caracterização dos materiais serão realizados no laboratório de materiais de construção da UFAC. O material será separado para a produção de concreto e antes de se realizar as betonadas do concreto e material passarão pelos ensaios de caracterização, este procedimento será adotado para garantir uma melhor precisão dos resultados. Assim, pretende-se ensaiar o material de cada betonada. Os ensaios de caracterização dos agregados foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFAC. Para os concretos a maior parte dos ensaios, também, foram realizados Laboratório de Materiais de Construção da UFAC, ficando apenas os ensaios mecânicos de compressão axial, a cargo do Laboratório de Argamassas e Concretos da FUNTAC. Para produção de concreto será utilizada a água servida no laboratório de materiais de construção da UFAC, oriunda de abastecimento público. Conforme a ABNT NBR 15900 em seu item “3.2 Água de abastecimento público - Esta água é considerada adequada para uso em concreto e não necessita ser ensaiada”. Logo não serão realizados ensaios para essa. A água será utilizada em temperatura ambiente.

3.3.1.1. Cimento Portland

Para o cimento portland será empregado o CP II Z 32 que deve atender todos os requisitos exigidos pela ABNT NBR 16.697, mais precisamente do fabricante CIPLAN, a ser adquirido no comércio local, os elementos químicos do cimento são apresentados na Tabela

3.7. Visto que o cimento e fabricante passam por inúmeros ensaios e várias fiscalizações para poderem colocar o produto no comércio, não serão realizados outros ensaios para o cimento, assim, o mesmo será adquirido no comércio local e utilizado na produção do concreto do estudo.

Tabela 3.7 - Elementos químicos no cimento CIPLAN CP II Z 32

ELEMENTOS QUÍMICOS	%
Dióxido de silício (SiO_2)	28,09
Silicato de cálcio (Ca_3SiO_5)	31,78
Magnésio (MgO)	5,34
Óxido de titânio ($\text{Na}_2\text{Ti}_9\text{O}_{19}$)	8,34
Silicato de alumínio e cálcio de magnésio ($54\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$)	9,25
Gobbsite $[(\text{Na} \cdot 4\text{Ca} \cdot 0,94(\text{Si}_{10,4} \cdot \text{Al}_{5,6}\text{O}_{32}) \cdot (\text{H}_2\text{O})_{16,185})]$	6,05
Óxido nitrato de alumínio ($\text{SiAl}_7\text{O}_2\text{N}_7$)	11,15

Fonte: Adaptado de Santos D. P. (2015)

O cimento portland utilizado no estudo foi o CP II Z 32 da fabricante CIPLAN CIMENTOS, conforme Figura 3.7 e Figura 3.8, cimento portland do tipo composto com adição de pozolana. A escolha do produto foi pensada, para coibir a reação álcalis-sílica, que, poderia acontecer devido à mistura do vidro moído, que, possui sílica como um dos componentes da sua matéria prima e os álcalis presentes no cimento (óxido de sódio ou óxido de potássio), visto que a pozolana inibe a reação álcalis-sílica. Porém, cabe informar, que, a época do estudo, só se tinham disponíveis no mercado da capital Rio Branco, os cimentos portland CP II Z 32 do fabricante CIPLAN e o CP IV 32 do fabricante ITAÚ. Foram adquiridos sacos de 50kg (cinquenta quilogramas) do cimento portland, para evitar hidratação accidental os mesmos eram abertos e separados em sacos plásticos com a quantidade de 10kg (dez quilogramas), conforme Figura 3.9, para facilitar o manuseio nas betonadas, após abertos os sacos o material era consumido em menos de 5 (cinco) dias.

Figura 3.7 – Classificação no saco de 50kg do CP II Z 32.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.8 – Saco de 50kg do CP II Z 32 CIPLAN.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.9 – Separação em sacos plasticos de 10kg.



Fonte: Própria (2021).

A. Densidade ou Massa Específica Real

O ensaio de determinação da massa específica é padronizado pela norma, ABNT NBR 16605. Foram realizados ensaios em dois sacos de cimentos diferentes, sendo coletado de cada saco de cimentos 3 (três) amostras diferentes com massa de 60g (Figura 3.11), totalizando 6 (seis) ensaios de determinação da massa específica do Cimento Portland CP II Z-32 CIPLAN.

De acordo com o procedimento da norma, o material era inserido no frasco “*le chatelier*” com líquido não reagente ao cimento Portland, no caso querosene, adquirido no comércio local (Figura 3.10) e, posteriormente, colocado em banho termorregulador (Figura 3.12).

Obteve-se o resultado médio de: $\gamma_{med} = 2,94 \text{ g/cm}^3$, para a massa específica do CP II Z 32 CIPLAN, conforme pode ser visto na Tabela 3.8.

Figura 3.10 – Amostra no frasco “Le Chatelier”.

Figura 3.11 – Amostras de Cimento.



Fonte: PACHECO (2015).



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.12 – Banho termoregulador.



Fonte: PACHECO (2015).

Tabela 3.8 – Determinação da densidade do cimento Portland – CP II Z 32 CIPLAN

AMOSTRAS				TEMPERATURA (°C)		VOLUMES (cm³)			MASSA ESPECÍFICA
Nº	Frasco	Data	(g)	Inicial	Final	V1	V2	V2-V1	(g/cm³)
01	01	12/04/21	60	23	23	0,1	20,4	20,3	2,94
02	03	12/04/21	60	23	23	0,1	20,5	20,4	2,95
03	05	12/04/21	60	23	23	0,1	20,6	20,5	2,93
04	01	21/05/21	60	23	23	0,1	20,5	20,4	2,95
05	03	21/05/21	60	23	23	0,1	20,6	20,5	2,93
06	05	21/05/21	60	23	23	0,1	20,6	20,5	2,93
MÉDIA									2,94

Fonte: Própria (2021)

3.3.1.2. Agregados

Antes de se proceder com a dosagem e produção dos concretos, são necessários a caracterização dos materiais, para isso, foram realizados alguns ensaios de caracterização dos materiais. Os ensaios realizados podem ser vistos no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Caracterização dos materiais

MAT.	ABNT NBR	DESCRIÇÃO	EXECUÇÃO
AREIA E VIDRO MOÍDO	NM 248:2003	Granulometria	Para: 0, 5, 10, 15 e 20%.
	16916:2021	Determinação da densidade	Para: 0, 5, 10, 15 e 20%.
	16916:2021	Determinação da absorção de água	Para: 0, 5, 10, 15 e 20%.
	16972:2021	Determinação da massa unitária	Para: 0, 5, 10, 15 e 20%.
	16972:2021	Determinação do índice de vazios	Para: 0, 5, 10, 15 e 20%.
	16973:2021	Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem	Para: 0, 5, 10, 15 e 20%.
	6467:2006 V.C. 2:2009	Inchamento	Para: 0%.
	15577-1:2018	Reação Álcalis-Agregado (RAA)	Não Executado
BRITA Nº1	NM 248:2003	Granulometria	Executado
	16917:2021	Determinação da densidade	Executado
	16917:2021	Determinação da absorção de água	Executado
	16972:2021	Determinação da massa unitária	Executado
	16972:2021	Determinação do índice de vazios	Executado
	16973:2021	Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem	Executado
	16974:2021	Ensaio de abrasão Los Angeles	Obtido
	15577-1:2018	Reação Álcalis-Agregado (RAA)	Não Executado

Fonte: Própria (2020).

Não foi possível realizar o ensaio de “reação álcalis-agregado” para os agregados, visto que o laboratório de materiais da UFAC não possui as condições necessárias para realização dos mesmos.

A. Secagem e Armazenamento dos Agregados

Os agregados adquiridos para o estudo, foram transportados, até o laboratório de material de construção da UFAC. Posteriormente, foram colocados em estufa a 105°C, por 24h (Figura 3.13) para secagem, ao final da secagem, os mesmos permaneciam em repouso de uma hora, em temperatura ambiente, para esfriarem naturalmente, os agregados eram, então, armazenados em bombona plástica de tampa rosqueável, com capacidade de 200l (Figura 3.14).

Figura 3.13 – Estufa para secagem dos agregados.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.14 – Bombonas para armazenamento dos agregados.



Fonte: Própria (2021).

3.3.1.3. Agregado Graúdo (Brita 1)

A agregado graúdo utilizado é comercializado em Rio Branco com a denominação de “Brita Nº 1” (Figura 3.15), é comum, também, entre profissionais e não profissionais da construção, utilizar a denominação de “Brita 3/8”.

Figura 3.15 – Saco de 20kg de Brita 1 Comercial.



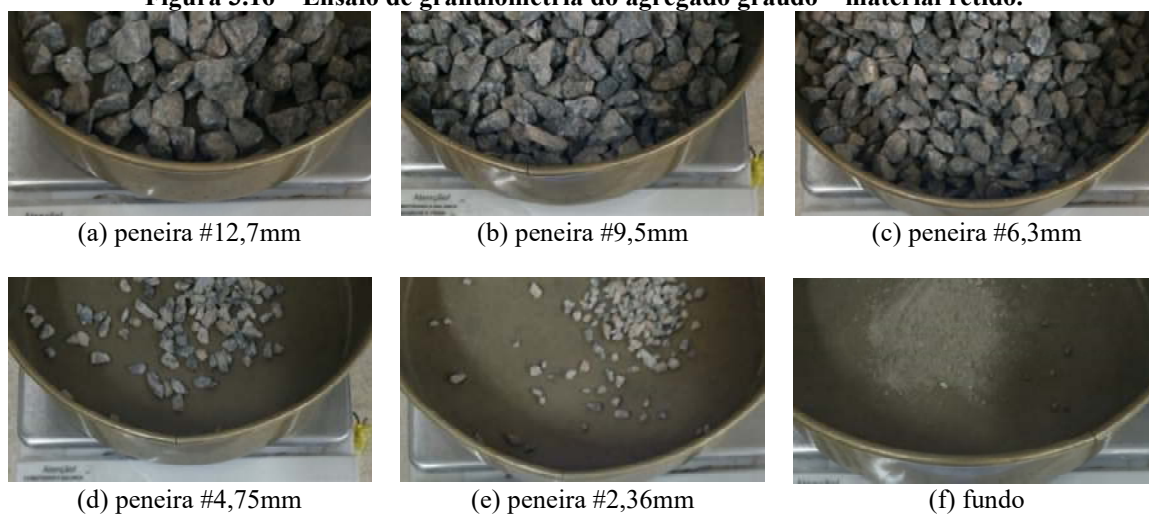
Fonte: Própria (2021).

A. Granulometria

Os ensaios de granulometria foram realizados de acordo com a ABNT NBR NM 248. Para os ensaios de granulometria do agregado graúdo foram separadas 4 (quatro) amostras, com duas subamostras em cada, perfazendo um total de 8 (oito) ensaios de granulometria.

As fichas de ensaios utilizadas para registrar os resultados dos ensaios de granulometria podem ser vistas no Apêndice L. A Figura 3.16 apresenta o material retido nas peneiras em um dos ensaios. O material de granulometria menor que 1,18mm, foi considerado como material fino presente do agregado graúdo.

Figura 3.16 – Ensaio de granulometria do agregado graúdo – material retido.



Fonte: Própria (2021).

A Tabela 3.9 apresenta a porcentagem média do material retido nos ensaios, nesta, é possível visualizar que a maior parte do material ficou retido nas peneiras de aberturas da malha

de 12,5mm; 9,5mm e 6,3mm; aproximadamente 95% do material total está compreendido nestas peneiras.

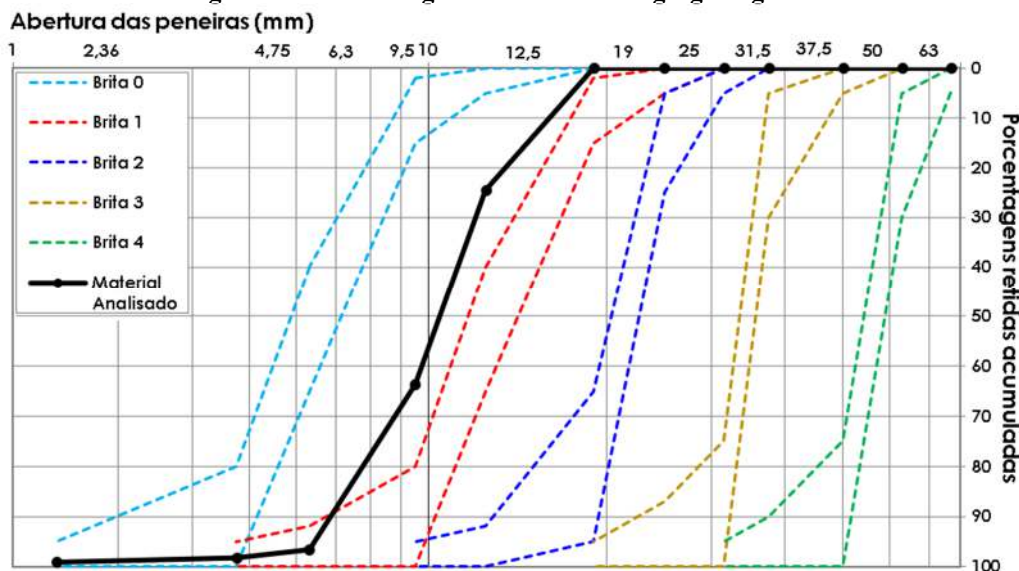
Tabela 3.9 – Granulometria do agregado graúdo – Porcentagem média do material retido.

PENEIRAS (mm)	Porcentagem da massa retida (%)								MÉD	ACUM.
	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		AMOSTRA 3		AMOSTRA 4			
	m1	m2	m1	m2	m1	m2	m1	m2		
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12,5	24,93	23,58	23,80	23,77	25,16	24,02	24,53	23,58	24,17	24,17
9,5	38,94	40,25	40,05	37,77	38,64	38,02	39,03	38,34	38,88	63,05
6,3	33,21	31,86	32,05	34,31	32,96	34,59	33,34	34,61	33,37	96,42
4,75	1,44	2,00	1,91	1,93	1,45	1,17	1,31	1,18	1,55	97,97
2,36	0,67	1,22	1,12	1,13	0,83	1,13	0,81	1,18	1,01	98,98
Fundo	0,82	1,09	1,07	1,08	0,96	1,07	0,98	1,11	1,02	100,00

Fonte: Própria (2021).

Na Figura 3.17 é possível visualizar a curva granulométrica do agregado graúdo, o material não chega a se enquadrar, perfeitamente, na granulometria da brita N° 1, porém é comercializado como tal. A Tabela 3.10 é possível visualizar o módulo de finura médio do agregado graúdo utilizado no estudo.

Figura 3.17 – Curva granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Própria (2021).

Tabela 3.10 – Granulometria agregado graúdo – Módulos de finura.

AMOSTRAS	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4
Média	6,57	6,55	6,56	6,55
MF	6,56			

Fonte: Própria (2021).

O módulo de finura se enquadra, como: **MF = 6,56**. Já o diâmetro máximo do agregado se enquadra, como: **Dmax = 12,5mm**.

B. Absorção de Água, Densidade e Massa Específica.

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 16917. Foram separadas 8 (oito) amostras de material, as fichas de ensaios utilizadas para registrar os resultados dos ensaios de absorção, densidade e massa específica saturada com superfície seca, podem ser vistas no Apêndice M, a

Figura 3.18 apresenta equipamentos e etapas dos procedimentos de ensaios. A Tabela 3.11 apresenta os dados de todas as amostras, bem como os resultados dos ensaios.

Figura 3.18 – Ensaios de absorção e densidades.



(a) cesto de imersão.

(b) amostra enxugada.

Fonte: Própria (2021).

Tabela 3.11 – Densidade e absorção de água do agregado graúdo (NBR 16917)

AMOSTRAS	SIGLAS	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	MÉDIA
massa do recip. vazio (g);	-	300	300	300	300	300	300	300	300	300,0
massa seca em estufa + recip. (g)	-	3295	3000	3180,0	3212,0	3207,0	3056,5	3155,0	3210,0	3.164,4
massa seca em estufa °C (g)	mA	2995,0	2700,0	2880,0	2912,0	2907,0	2756,5	2855,0	2910,0	2.864,4
massa do recip. + massa sss	-	3310,0	3015,0	3195,0	3229,0	3221,5	3070,5	3171,0	3226,0	3.179,8
massa sss (g);	mB	3010,0	2715,0	2895,0	2929,0	2921,5	2770,5	2871,0	2926,0	2.879,8
massa agreg. + cesto imersos (g);	-	2545,0	2360,0	2474,0	2494,0	2494,0	2394,0	2460,0	2492,0	2.464,1
massa cesto imerso (g);	-	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0
massa submersa em água sss (g);	mC	1885,0	1700,0	1814,0	1834,0	1834,0	1734,0	1800,0	1832,0	1.804,1
absorção de água (%)	Abs	0,50	0,56	0,52	0,58	0,50	0,51	0,56	0,55	0,53
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,662	2,660	2,664	2,659	2,673	2,659	2,666	2,660	2,663
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,676	2,675	2,678	2,675	2,686	2,673	2,681	2,675	2,677

Fonte: Própria (2021).

i. Absorção de água do agregado graúdo

O material analisado foi um só, a brita N°1, comercializada em Rio Branco, todos os resultados das amostras foram semelhantes, tendo como resultado médio para a absorção de água do agregado graúdo utilizado no estudo, um valor de: **Abs_{med} = 0,53%**.

ii. Densidade seca do agregado graúdo

A densidade do material seco, é determinada pela relação entre o a massa do material seco e seu volume, desconsiderando o volume de espaços vazios, para o agregado graúdo do estudo, obteve-se um valor médio de: $\rho_s = 2,663 \text{ g/cm}^3$

iii. Massa específica saturada com superfície seca do agregado graúdo

A densidade do material saturado com superfície seco, leva em consideração é determinada pela relação entre o a massa do material saturado com superfície seco e seu volume, desconsiderando o volume de espaços vazios, para o agregado graúdo do estudo, obteve-se um valor médio de: $\rho_{ss} = 2,677 \text{ g/cm}^3$

C. Massa Unitária e Índice de Vazios

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 16972. Foram separadas 8 (oito) amostras de material, as fichas de ensaios utilizadas para registrar os resultados dos ensaios de massa unitária e do índice de vazios, podem ser vistas no Apêndice M, a Figura 3.19 apresenta equipamentos e etapas dos procedimentos de ensaios. A Tabela 3.12 apresenta os dados de todas as amostras, bem como os resultados dos ensaios.

Figura 3.19 – Massa unitária do agregado graúdo.



Fonte: Própria (2021).

Tabela 3.12 – Massa unitária e índice de vazios do agregado graúdo (NBR 16972)

AMOSTRAS	SIGLAS	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	MÉDIA
massa material seco + recipiente (kg)	mar	30,56	30,67	30,88	30,65	30,58	30,86	30,64	30,61	30,70
massa recipiente vazio (kg)	mr	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26
massa material seco (kg)	ms	21,30	21,41	21,62	21,39	21,32	21,60	21,38	21,35	21,44
volume do recipiente (dm ³)	V	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,00
dens. água na temp. do banho (g/cm ³)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985
massa unitária do agregado (g/cm³)	Pap	1,420	1,427	1,441	1,426	1,421	1,440	1,425	1,423	1,429
índice de vazios (%)	Ev	46,60	46,33	45,81	46,37	46,56	45,84	46,41	46,48	46,30

Fonte: Própria (2021).

i. Massa unitária do agregado graúdo

A massa unitária, é determinada pela relação entre o a massa do material seco e seu volume, levando em consideração o volume de vazios, para o agregado graúdo do estudo, obteve-se um valor médio de: $\rho_{ap} = 1,429 \text{ g/cm}^3$

ii. Índice de vazios do agregado graúdo

O índice de vazios determina a em percentual, a quantidade de vazios no agregado, para o agregado graúdo do estudo, obteve-se um valor médio de: $E_v = 46,30\%$

Por que é importante saber o valor do índice de vazios do agregado graúdo?

O presente estudo utilizará o método de dosagem do concreto elaborado pelo IBRACON, que utiliza a porcentagem de argamassa a ser utilizada na produção do concreto, daí a importância de se saber a porcentagem do índice de vazios do agregado graúdo, pois esses vazios serão preenchidos pela argamassa, envolvendo o agregado graúdo e produzindo um concreto mais econômico e sem desperdícios de material. Assim, com o valor médio do índice de vazios do agregado graúdo, igual a 46,30%, é possível tomar a decisão de determinar a porcentagem de argamassa do concreto um valor de 47,00%.

D. Determinação do material fino passante na peneira de 75 μm por lavagem

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 16973. Assim como no ensaio anterior, foram separadas 8 (oito) amostras de material, as fichas de ensaios utilizadas para registrar os resultados podem ser vistas no Apêndice M, a Tabela 3.13 apresenta os dados de todas as amostras, bem como os resultados dos ensaios.

Tabela 3.13 – Material passante na peneira #75 μm por lavagem do agregado graúdo.

AMOSTRAS	SIGLAS	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	MÉDIA
massa inicial da amostra seca (g)	mi	2500,05	2500,11	2500,08	2501,61	2500,37	2500,79	2500,35	2500,93	2.500,54
massa seca após a lavagem (g)	mf	2481,63	2478,02	2481,98	2486,01	2479,66	2485,31	2482,13	2481,96	2.482,09
material fino passa na peneira de 75 μm , por lavagem (%)	m	0,74	0,88	0,72	0,62	0,83	0,62	0,73	0,76	0,74

Fonte: Própria (2021).

Analisando os resultados do agregado graúdo lavado, é possível verificar uma porcentagem de material lavado menor que 1%, uma porcentagem pequena, já que média é de 0,74%.

E. Abrasão Los Angeles

O ensaio de abrasão *Los Angeles*, são normalizados pela ABNT NBR 16974, junto ao laboratório da FUNTAC, que, já havia realizado inúmeros ensaios com amostras de brita Nº1, de mesma procedência do material do estudo, portanto, para a abrasão *Los Angeles* foi apenas tomado o valor informado pela FUNTAC, com material de mesma medida e procedência do usado no estudo. De acordo com a FUNTAC a abrasão da brita Nº1, comercializada em Rio Branco está dentro da faixa de trabalho de 30 a 40%, corroborando com os resultados limitantes estabelecidos pela NBR 16974, que prevê como limite para o desgaste do agregado graúdo um valor menor ou igual a 50%.

3.3.1.4. Agregado Miúdo (Areia do Rio Acre e Vidro Moído)

A areia utilizada no estudo foi adquirida em comércio local, o material é vendido em sacos de 19Kg, porém, se apresentam úmidos (Figura 3.20). A areia e vidro moído foram colocados em bandejas (Figura 3.21) para secagem em estufa a 105°C por 24h, após esse período, se aguardava 2 (duas) horas para manuseio dos agregados, tempo mais que necessário para o resfriamento.

A Figura 3.22 apresentam os agregados miúdos, conforme serão utilizados, inclusive o vidro moído na granulometria: retido na peneira de abertura de malha igual a 0,6 mm e passante na peneira de abertura de malha igual a 1,18 mm.

Figura 3.20 – Saco de Areia do rio Acre.



(a)

(b)

Fonte: Própria (2021).

Figura 3.21 – Areia para secagem em estufa.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.22 – Areia do rio Acre e vidro moído.



Fonte: Própria (2021).

Já a Figura 3.23 apresenta os diferentes agregados miúdos compostos formados pelas misturas da areia do rio acre com as substituições parciais de 5, 10, 15 e 20% de vidro moído em sua respectiva massa. As fichas de ensaios técnicos do agregado miúdo, utilizadas para registrar os resultados podem ser vistas nos Apêndices A ao K.

Figura 3.23 – Areia do rio Acre com o acréscimo de vidro moído.



(a) areia do rio Acre com 5% de vidro moído



(b) areia do rio Acre com 10% de vidro moído



(c) areia do rio Acre com 15% de vidro moído



(d) areia do rio Acre com 20% de vidro moído

Fonte: Própria (2021).

A. Granulometria

Os ensaios de granulometria foram realizados de acordo com a ABNT NBR NM 248, de acordo com a série de peneiras normais (Figura 3.24).

Figura 3.24 – Conjunto de peneiras.



Fonte: Própria (2021).

Para cada percentagem de adição de vidro, foram realizados dois ensaios de granulometria, com duas subamostras, além de dois ensaios para a areia sem adição de vidro moído, os ensaios foram realizados conforma as betonadas executadas, com exceção da betonada de Nº 2, visto que a mesma foi realizada em período próximo a betona de Nº 1, o material utilizado na betonada Nº 2 foi separado junto com o material da betonada Nº 1.

As fichas de ensaios utilizadas para registrar os resultados dos ensaios de granulometria podem ser vistas nos Apêndices B ao K.

Para os ensaios a massa inicial dos materiais foi de aproximadamente 2500g (duas mil e quinhentos gramas), separados em duas subamostras de aproximadamente 1000g (mil gramas), a quantidade de vidro para cada amostra foi determinada conforme a percentagem já estabelecida (Tabela 3.14).

Tabela 3.14 – Granulometria – massa das amostras iniciais.

PORCENTAGEM DE VIDRO	0%	5%	10%	15%	20%
MASSA DE VIDRO DAS AMOSTRAS (g)	-	125	250	375	500
MASSA DE AREIA DAS AMOSTRAS (g)	2500	2375	2250	2125	2000
TOTAL (g)	2500	2500	2500	2500	2500

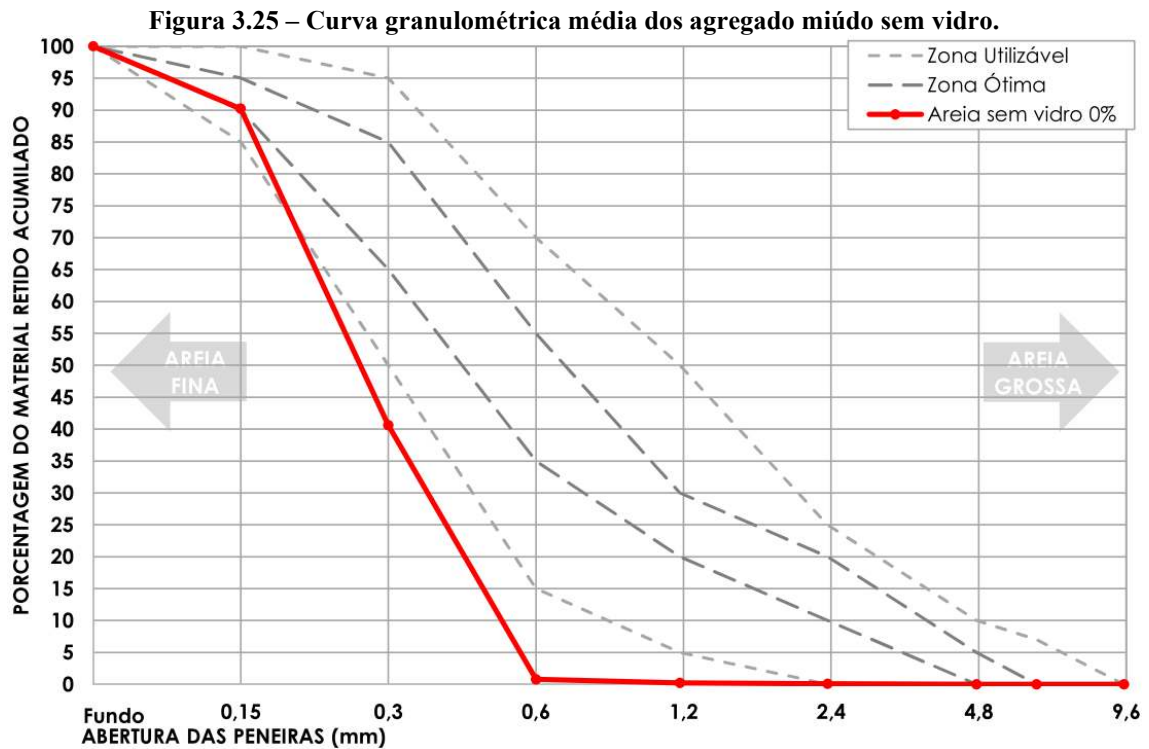
Fonte: Própria (2021).

Realizados os ensaios de granulometria se pode fazer algumas análises, como a areia do rio Acre é uma areia do tipo fina, a mistura dos agregados miúdos areia do rio Acre e vidro moído na medida, retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,2mm, acabam por formar um agregado miúdo composto, com granulometria melhor que apenas a areia do rio Acre, visto que o vidro moído acaba por fazer o papel de grão “maior” na mistura beneficiando a melhorar na granulometria do agregado miúdo composto. A afirmação pode ser vista nas Figuras:

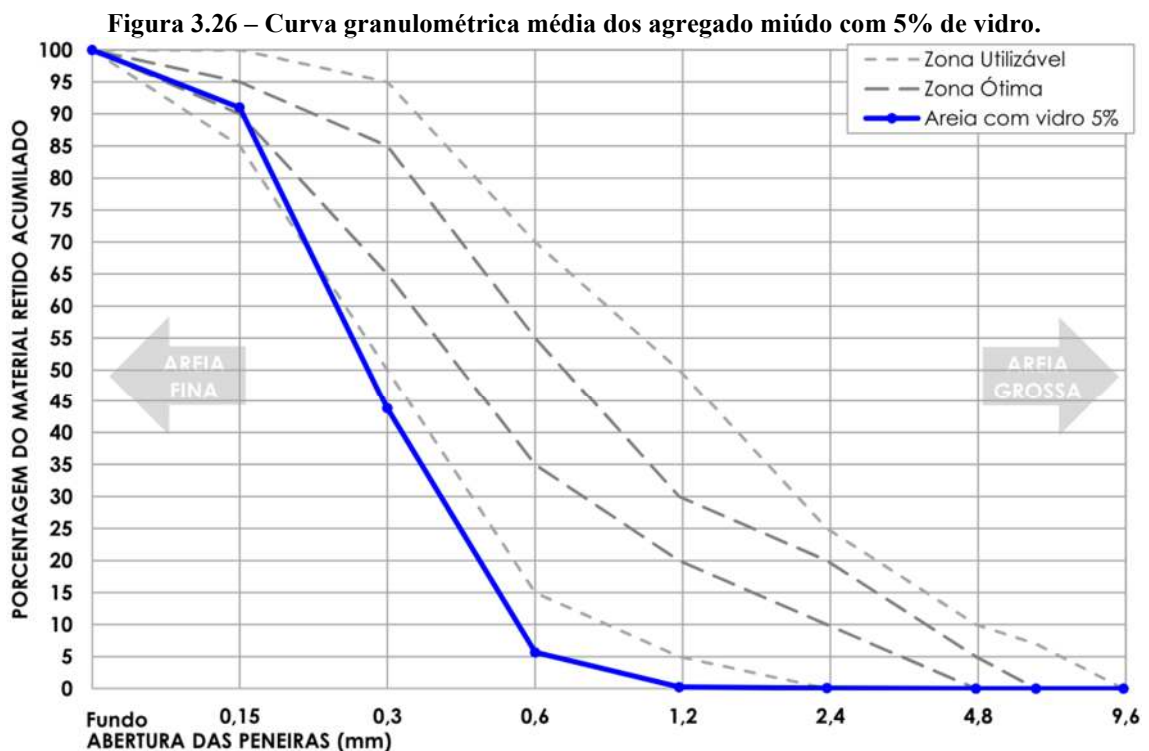
- Figura 3.25, curva granulométrica da areia do rio Acre;
- Figura 3.26, curva granulométrica da areia do rio Acre com 5% de vidro moído;
- Figura 3.27, curva granulométrica da areia do rio Acre com 10% de vidro moído;
- Figura 3.28, curva granulométrica da areia do rio Acre com 15% de vidro moído;
- Figura 3.29, curva granulométrica da areia do rio Acre com 20% de vidro moído;
- Figura 3.30, comparativo das curvas granulométricas dos agregados miúdos.

As Figuras mostram as curvas granulométricas médias dos ensaios de granulometrias realizados, é possível ver que se aumentando a percentagem de vidro moído, automaticamente se deixa de colocar a areia do rio Acre que é um material mais fino e consequentemente, com o acréscimo de vidro moído as curvas granulométricas se movem até, praticamente, se

enquadrar na zona utilizável estabelecida pela norma a partir de 15% de adição de vidro moído ao material.



Fonte: Própria (2021).



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.27 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo com 10% de vidro.

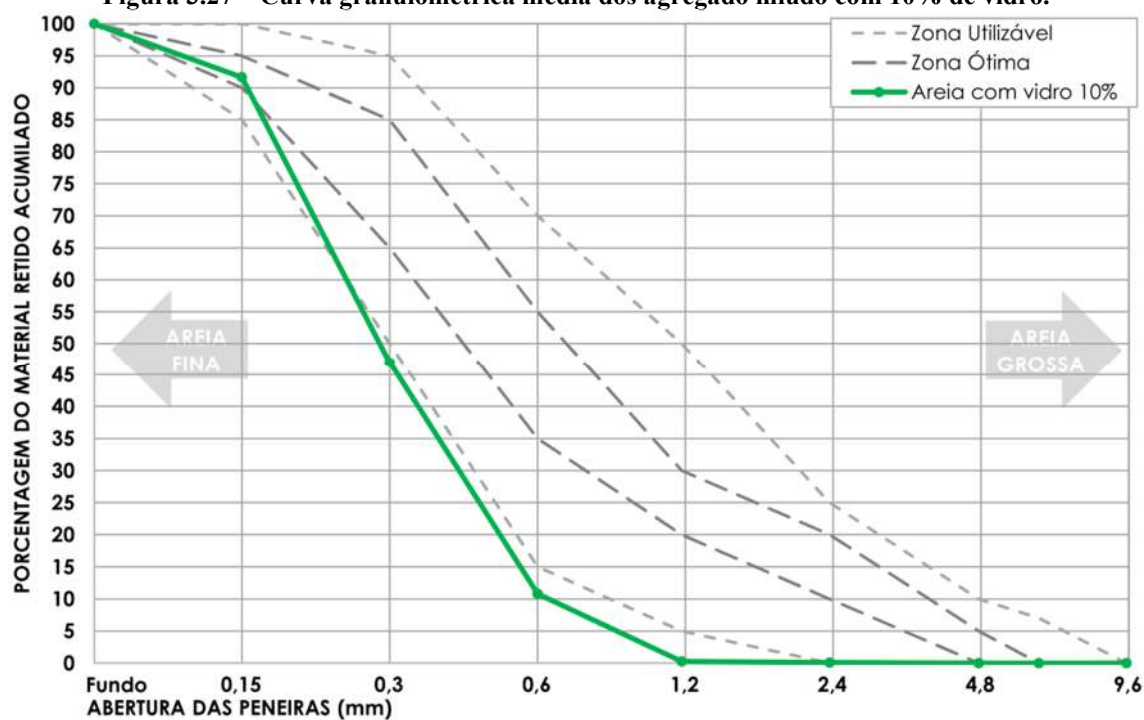


Figura 3.28 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo com 15% de vidro.

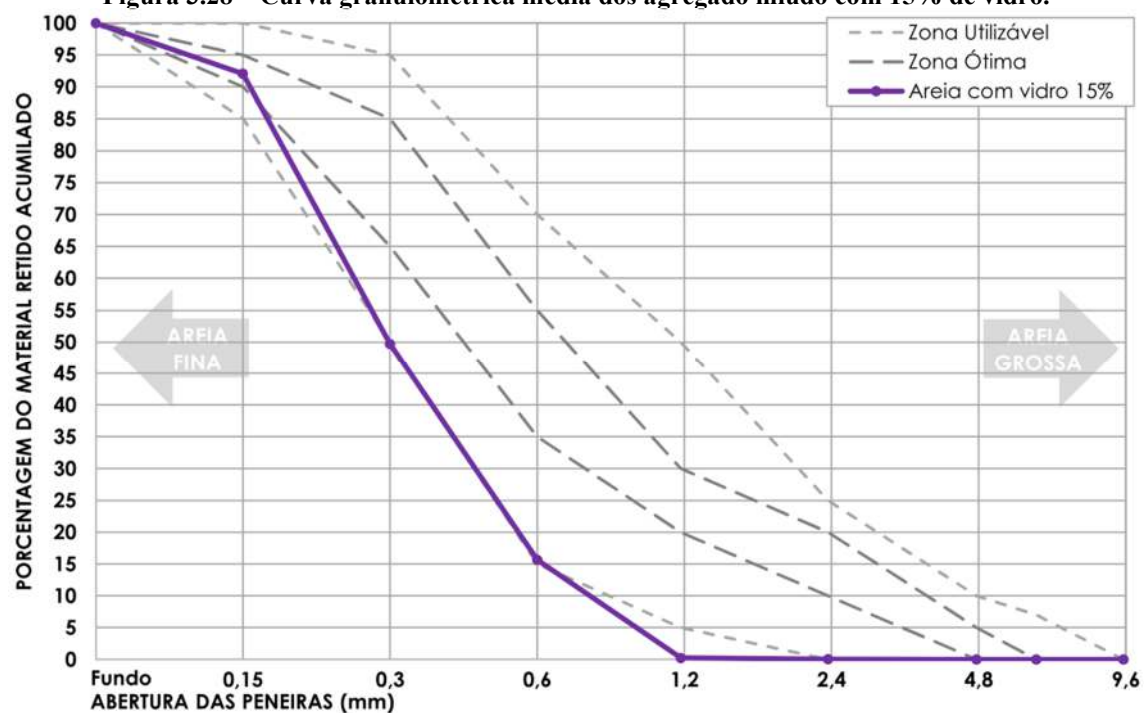
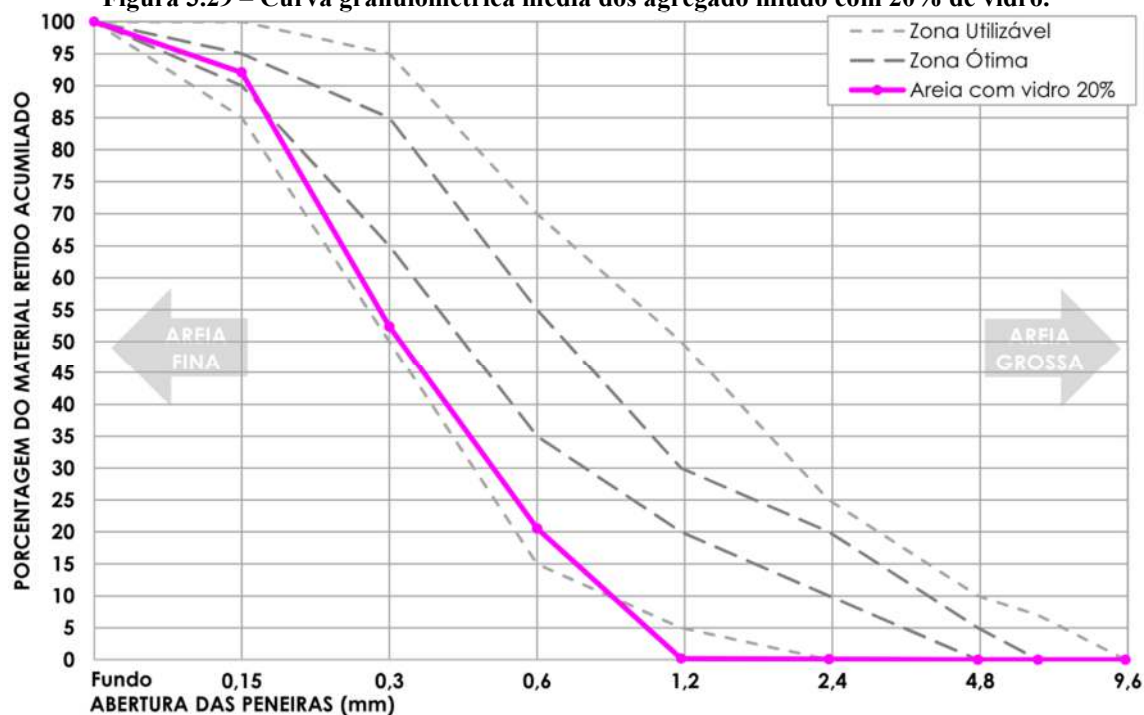
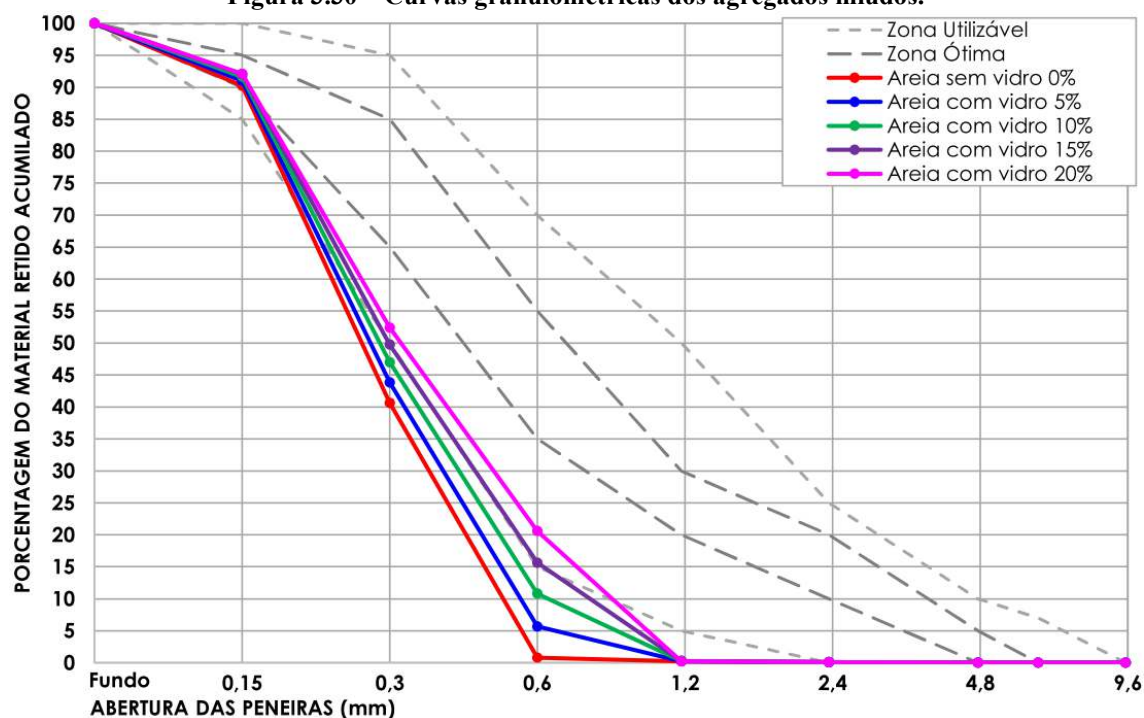


Figura 3.29 – Curva granulométrica média dos agregado miúdo com 20% de vidro.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.30 – Curvas granulométricas dos agregados miúdos.



Fonte: Própria (2021).

A Tabela 3.15 mostra as porcentagens médias do material retidos nas peneiras dos ensaios de granulometria e reforça a afirmação dita anteriormente, que, com o acréscimo de vidro moído na medida estabelecida, se deixa de colocar material fino (areia do rio Acre), que

é abundante, no material, melhorando a composição granulométrica. Na proporção que se aumenta a quantidade de vidro moído se reduz a quantidade de material fino (areia do rio Acre).

Ainda na Tabela 3.15 é possível ver, que, o material sem a adição de vidro moído, praticamente, não possui material de granulometria maior que 0,6mm, com a adição de vidro moído, este acaba por fazer o papel de “areia grossa”, na mistura.

Tabela 3.15 – Granulometria – Porcentagem média do material retido.

PENEIRAS (mm)	Sem vidro (0%)		5% de vidro		10% de vidro		15% de vidro		20% de vidro	
	B1 e 2	B7	B3	B8	B4	B9	B5	B10	B6	B11
	Porcentagem Média do Material Retido (%)									
2,36	0,02	0,10	0,04	0,13	0,03	0,13	0,06	0,08	0,06	0,08
1,18	0,11	0,22	0,11	0,19	0,145	0,235	0,16	0,18	0,11	0,165
0,6	0,44	0,69	5,22	5,66	10,405	10,645	15,38	15,43	20,25	20,48
0,3	39,62	40,02	38,30	38,01	36,44	35,95	34,39	33,78	31,7	31,935
0,15	49,48	49,77	47,06	47,29	44,565	44,71	42,08	42,58	39,58	39,78
Fundo	10,34	9,20	9,28	8,72	8,415	8,33	7,93	7,95	8,3	7,56

Fonte: Própria (2021).

Já na Tabela 3.16 que apresenta os módulos de finura oriundos dos ensaios de granulometria, é possível verificar o aumento dos mesmos, conforme se aumenta a adição de vidro moído, o que significa o “engrossamento” do agregado miúdo, em outras palavras, a proporção dos grãos entre os agregados miúdos é melhorada, fazendo com que os vazios dos grãos maiores sejam preenchidos pelos grãos menores.

Tabela 3.16 – Granulometria – Módulos de finura.

%	Sem vidro (0%)		5% de vidro		10% de vidro		15% de vidro		20% de vidro	
Betonada	B1 e 2	B7	B3	B8	B4	B9	B5	B10	B6	B11
MF	1,31	1,33	1,40	1,42	1,49	1,50	1,58	1,58	1,64	1,66
Média	1,32		1,41		1,50		1,58		1,65	

Fonte: Própria (2021).

Logo é correto afirmar que a substituição parcial de areia do rio Acre por vidro moído na medida escolhida, retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,2mm, melhorou a granulometria do agregado miúdo, utilizado no estudo, enquadrando o agregado miúdo composto, na zona utilizável inferior.

B. Absorção de Água, Densidade e Massa Saturada com Superfície Seca

Os ensaios de absorção de água, densidade e massa específica saturada com superfície seca, foram normalizados conforme a ABNT NBR 16916. As fichas de ensaios utilizadas para registrar os resultados dos ensaios de absorção de água, densidade e massa específica saturada com superfície seca podem ser vistas nos Apêndices B ao K.

i. Absorção de água pelo agregado miúdo

A Tabela 3.17 apresenta os resultados dos ensaios de absorção d'água dos agregados miúdo. Analisando os resultados de absorção dos agregados miúdos, é possível verificar uma redução da absorção média final do material, porém, independente da mistura dos agregados miúdos, seja, com ou sem vidro, a absorção é muito pequena, podendo ser considerada, relativamente, a mesma.

Tabela 3.17 – Absorção água do agregado miúdo.

% DE VIDRO	BETONADA	ABSORÇÃO DAS AMOSTRAS (%)						ABSORÇÃO (%)	
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	FINAL
0%	B1 e 2	1,21	1,12	1,11	1,52	1,03	1,05	1,17	1,19
	B7	1,27	1,16	1,14	1,39	1,10	1,15	1,20	
5%	B3	1,23	1,20	1,11	1,12	1,17	1,09	1,16	1,15
	B8	1,17	1,13	1,09	0,98	1,30	1,15	1,14	
10%	B4	1,24	1,25	1,11	1,06	1,11	0,97	1,12	1,12
	B9	1,13	1,17	1,18	1,11	1,14	0,96	1,11	
15%	B5	1,12	1,12	0,98	1,15	0,96	1,02	1,06	1,07
	B10	1,08	1,14	0,97	1,19	1,12	0,99	1,08	
20%	B6	1,06	0,88	0,89	0,88	0,93	1,03	0,95	0,94
	B11	0,99	0,90	0,80	0,95	0,93	0,99	0,93	

Fonte: Própria (2021).

ii. Densidade do agregado miúdo seco

A Figura 3.31 apresenta o equipamento utilizado para os ensaios de densidade do agregado miúdo. A Tabela 3.18 apresenta os resultados dos ensaios de densidade dos agregados miúdo seco.

Figura 3.31 – Ensaio de densidade.



Fonte: Própria (2021).

Tabela 3.18 – Densidade do agregado miúdo seco.

% DE VIDRO	BETONADA	MASSA ESP. DAS AMOSTRAS						MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)	
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	FINAL
0%	B1 e 2	2,539	2,548	2,543	2,535	2,545	2,554	2,544	2,540
	B7	2,534	2,534	2,544	2,528	2,532	2,547	2,536	
5%	B3	2,538	2,530	2,527	2,526	2,521	2,532	2,529	2,529
	B8	2,536	2,515	2,539	2,523	2,524	2,529	2,528	
10%	B4	2,531	2,519	2,516	2,538	2,522	2,539	2,527	2,532
	B9	2,537	2,535	2,521	2,540	2,526	2,544	2,537	
15%	B5	2,515	2,541	2,518	2,525	2,534	2,516	2,525	2,530
	B10	2,535	2,534	2,539	2,531	2,548	2,524	2,535	
20%	B6	2,529	2,536	2,536	2,535	2,543	2,529	2,535	2,536
	B11	2,536	2,545	2,531	2,540	2,531	2,539	2,537	

Fonte: Própria (2021).

Analisando os resultados das densidades dos agregados miúdos secos, é possível verificar, que, a variação dos valores é pequena, ao ponto de considerar, que, não ocorreu grandes alterações nas densidades, independente da mistura dos agregados miúdos, seja, com ou sem vidro, a densidade do material seco pode ser considerada sem alteração.

iii. Densidade do agregado miúdo saturado com superfície seca

A Figura 3.32 apresenta equipamento utilizado para os ensaios de massa específica saturada com superfície seca dos grãos do agregado miúdo.

A Tabela 3.19 apresenta os resultados dos ensaios de massa específica saturada com superfície seca dos grãos do agregado miúdo.

Figura 3.32 – Massa específica saturada com superfície seca.



Fonte: Própria (2021).

Tabela 3.19 – Massa específica do agregado miúdo SSS.

% DE VIDRO	BETONADA	MASSA ESP. DAS AMOSTRAS						MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)	
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	FINAL
0%	B1 e 2	2,570	2,576	2,571	2,573	2,572	2,581	2,574	2,571
	B7	2,566	2,564	2,573	2,564	2,560	2,576	2,567	
5%	B3	2,569	2,560	2,555	2,555	2,550	2,560	2,558	2,557
	B8	2,566	2,543	2,567	2,548	2,557	2,558	2,556	
10%	B4	2,562	2,550	2,544	2,564	2,550	2,564	2,556	2,559
	B9	2,566	2,565	2,551	2,569	2,555	2,568	2,562	
15%	B5	2,551	2,567	2,560	2,564	2,541	2,569	2,559	2,561
	B10	2,562	2,563	2,564	2,561	2,577	2,549	2,563	
20%	B6	2,556	2,558	2,558	2,557	2,566	2,555	2,559	2,560
	B11	2,562	2,568	2,551	2,564	2,554	2,565	2,561	

Fonte: Própria (2021).

Assim como na densidade do agregado miúdo seco, analisando os resultados da massa específica saturada com superfície seca dos grãos do agregado miúdo é possível verificar, que, a variação dos valores é pequena, ao ponto de considerar, que, não ocorreu grandes alterações, também, independente da mistura dos agregados miúdos, seja, com ou sem vidro, a massa específica saturada com superfície seca dos grãos do material, também, pode ser considerada sem alteração.

C. Massa Unitária² e Índice de Vazios

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 16972. A Figura 3.33 apresenta equipamento utilizado para os ensaios de massa unitária do agregado miúdo.

Figura 3.33 – Massa unitária



Fonte: Própria (2021).

i. Massa unitária seca do agregado miúdo

A Tabela 3.20 apresenta os resultados dos ensaios da massa unitária do agregado miúdo seco.

Tabela 3.20 – Massa unitária seca do agregado miúdo.

% DE VIDRO	BETONADA	MASSA UNIT. DAS AMOSTRAS						MASSA UNITÁRIA (g/cm³)	
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	FINAL
0%	B1 e 2	1,333	1,335	1,336	1,341	1,352	1,339	1,339	1,336
	B7	1,333	1,346	1,335	1,330	1,328	1,327	1,333	
5%	B3	1,373	1,374	1,376	1,380	1,392	1,378	1,379	1,378
	B8	1,375	1,388	1,377	1,372	1,371	1,369	1,376	
10%	B4	1,408	1,410	1,411	1,416	1,428	1,414	1,415	1,414
	B9	1,412	1,426	1,415	1,410	1,408	1,407	1,413	
15%	B5	1,435	1,436	1,438	1,442	1,454	1,440	1,441	1,443
	B10	1,443	1,457	1,445	1,441	1,439	1,438	1,444	
20%	B6	1,472	1,474	1,475	1,480	1,491	1,478	1,478	1,479
	B11	1,479	1,493	1,482	1,477	1,475	1,474	1,480	

Fonte: Própria (2021).

Analisando os resultados da massa unitária do agregado miúdo seco, é possível verificar, que, com o acréscimo de vidro moído, na granulometria escolhida no estudo (retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,2mm), ocorreu aumento da massa unitária do agregado miúdo seco, corroborando com a informação apurada na granulometria do agregado miúdo, com o acréscimo de vidro moído a proporção dos grãos entre os agregados miúdos é melhorada, fazendo com que os vazios dos grãos maiores sejam preenchidos pelos grãos menores, logo, é correto afirmar que o acréscimo de vidro moído na areia do rio Acre, aumentou a massa unitária seca do agregado miúdo.

ii. Massa unitária úmida do agregado miúdo

A Tabela 3.21 apresenta os resultados dos ensaios da massa unitária do agregado miúdo saturado com superfície seca. Assim como na massa unitária seca, se repete a análise para a

² Também denominada massa específica aparente.

massa unitária saturada com superfície seca, logo, analisando os resultados da massa unitária do agregado miúdo saturado com superfície seca, também, é possível verificar, que, com o acréscimo de vidro moído, na granulometria escolhida no estudo (retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,2mm), ocorreu aumento da massa unitária do agregado miúdo saturado com superfície seca, assim como na massa unitária seca, assim, o acréscimo de vidro moído proporciona melhora na proporção dos grãos entre os agregados miúdos e mais uma vez, é correto afirmar que o acréscimo de vidro moído na areia do rio Acre, aumentou a massa unitária agregado miúdo saturado com superfície seca.

Tabela 3.21 – Massa unitária SSS do agregado miúdo.

% DE VIDRO	BETONADA	MASSA UNIT. DAS AMOSTRAS						MASSA UNITÁRIA (g/cm³)	
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	FINAL
0%	B1 e 2	1,349	1,350	1,352	1,357	1,368	1,354	1,355	1,352
	B7	1,349	1,362	1,351	1,346	1,344	1,343	1,349	
5%	B3	1,389	1,390	1,392	1,396	1,408	1,394	1,395	1,393
	B8	1,391	1,404	1,393	1,388	1,387	1,385	1,391	
10%	B4	1,424	1,426	1,427	1,432	1,444	1,430	1,430	1,430
	B9	1,428	1,442	1,430	1,426	1,424	1,422	1,429	
15%	B5	1,450	1,451	1,453	1,458	1,469	1,455	1,456	1,458
	B10	1,459	1,473	1,461	1,456	1,455	1,453	1,460	
20%	B6	1,486	1,488	1,489	1,494	1,505	1,492	1,492	1,493
	B11	1,493	1,507	1,495	1,490	1,489	1,488	1,494	

Fonte: Própria (2021).

iii. Índice de vazios do agregado miúdo

A Tabela 3.22 apresenta os resultados dos ensaios da massa unitária do agregado miúdo saturado com superfície seca.

Tabela 3.22 – Índice de vazios do agregado miúdo.

% DE VIDRO	BETONADA	VAZIOS DAS AMOSTRAS (%)						IND. VAZIOS (%)	
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	FINAL
0%	B1 e 2	47,412	47,533	47,377	47,016	46,788	47,507	47,272	47,32
	B7	47,324	46,806	47,465	47,328	47,456	47,824	47,367	
5%	B3	45,837	45,597	45,474	45,286	44,705	45,498	45,400	45,45
	B8	45,707	44,714	45,672	45,521	45,600	45,777	45,498	
10%	B4	44,276	43,932	43,818	44,104	43,305	44,228	43,944	44,05
	B9	44,242	43,664	43,808	44,416	44,156	44,615	44,150	
15%	B5	43,054	43,344	43,216	43,008	42,158	43,277	43,009	42,98
	B10	42,964	42,421	42,990	42,991	43,430	42,948	42,957	
20%	B6	41,709	41,808	41,737	41,536	41,263	41,472	41,588	41,59
	B11	41,592	41,256	41,365	41,778	41,625	41,870	41,581	

Fonte: Própria (2021).

Avaliando os resultados para os índices de vazios dos agregados miúdos, se verifica uma redução do índice, conforme se aumenta a percentagem de vidro moído da mistura de

agregados miúdos, e lembrando os outros ensaios de densidade e massa unitária, é possível realizar algumas análises.

Como a densidade não sofreu alterações de acordo com o acréscimo de vidro moído, junto a areia do rio Acre, é correto afirmar, que, a densidade não influencia na diminuição dos índices de vazios dos agregados miúdos do estudo.

Já a massa unitária do agregado miúdo, aumenta, conforme se acresce vidro moído, junto a areia do rio Acre, logo, é correto afirmar, que, o aumento da massa unitária é o responsável pela redução do índice de vazios do agregado miúdo.

Também é correto afirmar que a redução do índice de vazios do agregado miúdo, significa um material mais denso ou mais compactado.

D. Determinação do material fino passante na peneira de 75 μ m por lavagem

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 16973.

A Figura 3.34 apresenta uma das amostras do agregado miúdo submetido a lavagem para determinação do material fino.

A Tabela 3.23 apresenta os resultados dos ensaios de determinação do material fino passante na peneira de 75 μ m por lavagem para os agregados miúdos do estudo.

Figura 3.34 – Agregado miúdo material fino por lavagem.



Fonte: Própria (2021).

Tabela 3.23 – Material fino do agregado miúdo.

% DE VIDRO	BETONADA	AMOSTRAS (%)				FINOS (%)	
		A1	A2	A3	A4	MÉDIA	FINAL
0%	B1 e 2	3,13	2,91	3,13	3,03	3,05	3,04
	B7	2,96	3,16	3,02	2,98	3,03	
5%	B3	2,83	3,06	2,98	2,96	2,96	2,93
	B8	2,83	2,71	2,90	3,17	2,90	
10%	B4	2,79	3,03	3,01	2,75	2,90	2,89
	B9	2,93	2,78	2,83	2,95	2,87	
15%	B5	2,88	2,85	2,98	2,86	2,89	2,88
	B10	2,80	2,97	2,84	2,87	2,87	
20%	B6	2,92	2,94	2,72	2,94	2,88	2,85
	B11	2,84	2,81	2,83	2,79	2,82	

Fonte: Própria (2021).

Analisando os resultados do agregado miúdo lavado, passante na peneira de abertura 75 μ m, é possível verificar, que, como o acréscimo de vidro moído nas percentagens do estudo (5, 10, 15 e 20%) há uma redução na percentagem de material lavado, porém, independente da

mistura dos agregados miúdos, seja, com ou sem vidro, a porcentagem é muito pequena, porém, reduzindo o material passante por lavagem dos agregados miúdos do estudo.

E. Inchamento

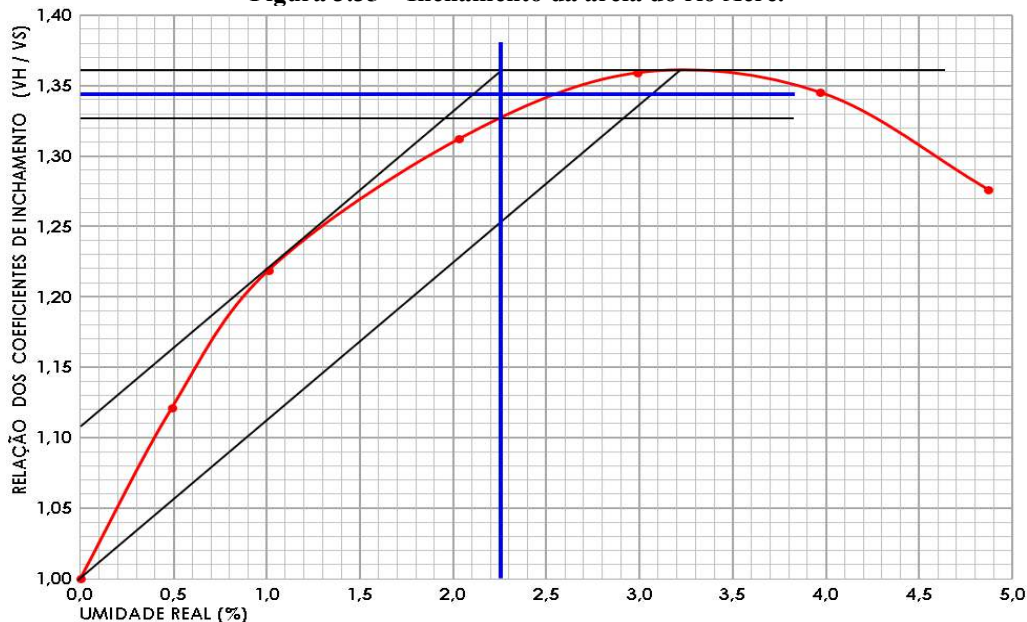
Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 6467. Realizou-se um ensaio com a areia do rio Acre, sem adições de vidro moído. A Tabela 3.24 apresenta os resultados do ensaio. Já a Figura 3.35 apresenta a curva de inchamento da areia.

Tabela 3.24 – Inchamento da areia do rio Acre

UMIDADE (H%) (ABNT)	0	0,5	1	2	3	4	5
Massa da água adicionada (g)	0	25,0	50,0	100,0	150,0	200,0	250,0
Massa da água adicionada por etapa (g)	0	25,0	25,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Massa do recipiente + amostra (g)	6737,0	6316,8	6044,2	5837,4	5757,5	5818,6	6016,0
Massa da amostra (g)	4042,0	3621,8	3349,2	3142,4	3062,5	3123,6	3321,0
Massa unitária (g/cm³)	1,347	1,207	1,116	1,047	1,021	1,041	1,107
Número da cápsula	03	06	07	13	14	15	19
Massa da cápsula (g)	110,43	110,50	110,32	110,47	110,51	110,48	110,44
Massa inicial (mi) + cápsula	159,48	157,80	160,22	161,23	161,79	162,36	160,00
Massa após secagem (mf) + cápsula	159,48	157,57	159,72	160,22	160,30	160,38	157,70
Umidade Real (%)	0,00	0,49	1,01	2,03	2,99	3,97	4,87
Coefficiente de Inchamento (Vh/Vs)	1,00	1,12	1,22	1,31	1,36	1,35	1,28

Fonte: Própria (2021).

Figura 3.35 – Inchamento da areia do rio Acre.



Fonte: Própria (2021).

Analisando os dados do ensaio, é possível determinar a umidade crítica e o coeficiente de inchamento médio. Sendo eles:

- umidade crítica: $h_{CRÍTICA} = 2,25\%$;
- coeficiente de inchamento médio: $CI_{MÉDIO} = 1,345$.

3.3.1.5. Vidro Moído

Como dito anteriormente, o vidro utilizado no estudo, foi obtido junta a Empresa PRS Recicladora de Porto Velho/RO, que é especializada em reciclagem de resíduos da construção civil. O material foi obtido de vidro boro-silicato, de garrafas e embalagens diversas, um exemplo pode ser visto na Figura 3.36. O vidro cedido, já havia passado por britador, logo, um primeiro processamento, porém, encontrava-se em diversas granulometrias, como pode ser visto na Figura 3.37.

Figura 3.36 – Exemplo de vidro triturado e matéria-prima.



Fonte: Setor Reciclagem (2021).

Figura 3.37 – Vidro Britado obtido na PRS Recicladora.



Fonte: Própria (2021).

Pra a substituição parcial da areia do Rio Acre por vidro moído limitou-se a porcentagem máxima de substituição em 20%, como visto no subcapítulo “2.4.2. Aplicação do vidro em Argamassas e Concretos”, alguns estudos indicam que a aplicações de vidro moído, na substituição do agregado miúdo, para aplicação em argamassas e concretos estruturais, não devam ultrapassar uma faixa percentual que gira entorno de 20% a 25%, visto que substituições maiores que estas, podem acarretar no surgimento de reações álcalis-sílica (RAS), logo, com a finalidade de evitar tais reações limitou-se a substituição neste estudo em 20%. As outras porcentagens seguem escalonamento em progressão decrescente de 5%, portanto, a substituição parcial da areia do rio acre por vidro moído será de 5%, 10%, 15% e 20%. Na a caracterização dos materiais em especial os agregados miúdos (areia do rio acre e vidro moído), se faz necessário o estudo dos comportamentos desses dois agregados quando misturados nas proporções indicadas no estudo. Como visto anteriormente areia acreana é muito fina, a Tabela 3.25 apresenta a média de alguns ensaios realizado pelo Laboratório de Materiais de Construção da UFAC, ao longo de anos, já a Figura 3.38 apresenta a curva granulométrica da tabela.

Tabela 3.25 – Granulometria da areia do Rio Acre

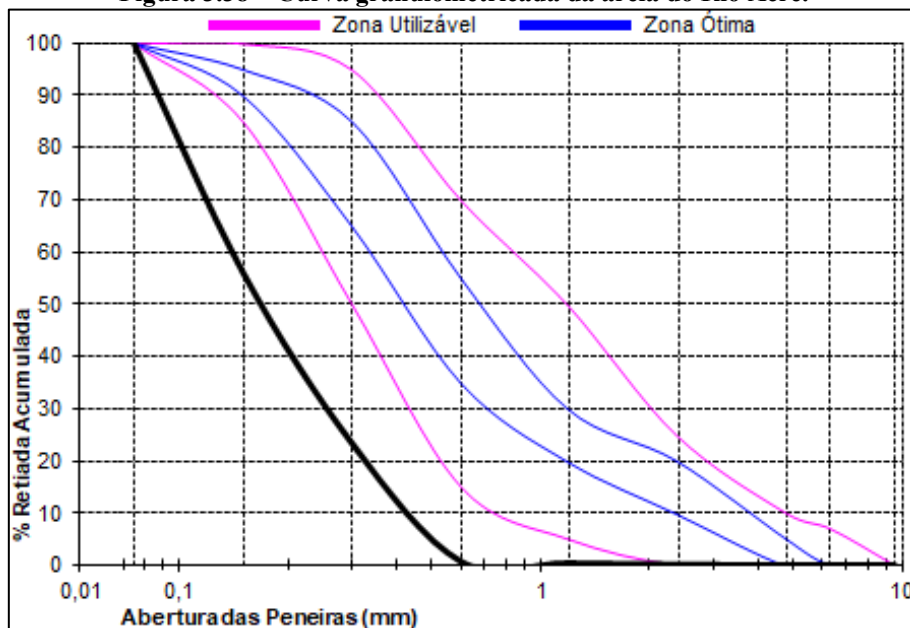
PENEIRA (mm)	PESO (pol/#)	PESO RETIDO (G)	% RETIDA		ESPECIFICAÇÃO: NBR NM 248			
			Indiv.	Acumul.	Zona utilizável		Zona ótima	
9,5	3/8	0	0,0	0	0	0	0	0
6,3	1/4	0	0,0	0,0	0	7	0	0
4,75	#4	0	0,0	0,0	0	10	0	5
2,36	#8	1,4	0,1	0,1	0	25	10	20
1,18	#16	2,4	0,2	0,4	5	50	20	30
0,6	#30	3	0,3	0,7	15	70	35	55
0,3	#50	227,3	22,8	23,4	50	95	65	85
0,15	#100	328,3	32,9	56,3	85	100	90	95
Fundo		436,3	43,7	100,0	100	100	100	100
TOTAL		998,7	100,0	181,0	DMC	0,3mm	MF	1,81

Fonte: Laboratório de Materiais da UFAC (2019)

Através da tabela é possível afirmar que a areia acreana possui uma grande quantidade de material fino. Com a finalidade de melhorar a granulometria do agregado miúdo a substituição da areia por vidro moído deve ser realizada com partículas maiores que 0,6 mm, portanto, será empregado na mistura o vidro moído com granulometria passante na peneira de abertura 1,18 mm e retido na peneira de abertura 0,6 mm.

As substituições parciais da areia por vidro moído serão realizadas levando em consideração a massa e massa específica das amostras, logo, para a elaboração de concreto com areia do rio acre, possuindo substituição parcial da areia por 5% de vidro moído de sua massa, por exemplo, caso se use 10kg de areia na mostra, 0,5kg serão substituídos por vidro moído, e assim proporcionalmente para as outras porcentagens.

Figura 3.38 – Curva granulométrica da areia do Rio Acre.



Fonte: Laboratório de Materiais de Construção da UFAC (2019)

O vidro utilizado no estudo, foi obtido junta a Empresa PRS Recicladora de Porto Velho/RO, que é especializada em reciclagem de resíduos da construção civil. A empresa cedeu aproximadamente 50kg do material para o estudo, já após um primeiro processamento, passado a matéria-prima pelo britador da empresa (Figura 3.39), sendo o material obtido de garrafas diversas de vidro boro-silicato, o vidro britado encontrava-se em granulometrias diversas, como pode ser visto nas Figura 3.40 e Figura 3.41.

Figura 3.39 – Britador de Vidro da PRS Recicladora.



Fonte: Ticianelli (2015).

Figura 3.40 – Vidro Britado obtido na PRS Recicladora.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.41 – Vidro Britado obtido na PRS Recicladora.



Fonte: Própria (2021).

A medida granulométrica utilizada do vidro moído, se encontra entre o material retido na peneira de abertura 0,6 mm e passante na peneira de abertura 1,18 mm, a ser utilizado na mistura com a areia do Rio Acre, para isso o material foi peneirado manualmente, sendo descartado o material passante na peneira de abertura 0,6 mm. O material retido na peneira de abertura 1,18 mm, foi armazenado para rebitagem/moagem.

Para remoer o vidro de granulometria > 1,18mm, foi utilizado um moedor caseiro feito a partir de uma panela de pressão de 4,5l (quatro litros e meio) e uma esmerilhadeira, modelo: Black&Decker G720 4.1/2 Pol. 820W, conforme visto na Figura 3.42, para funcionar como moedor, utilizou-se uma chapa de aço de 1mm de espessura e 15cm de comprimento.

Figura 3.42 – Moedor Caseiro de Vidro.

Fonte: Própria (2021).

O moedor de vidro caseiro foi inspirado em um moedor de milho, o qual pode ser visto no vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=GKymuUjdIbA&t=3s>. Com o material e equipamentos em mãos, procedeu-se algumas etapas, para obtenção da granulometria desejada, retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na granulometria 1,18mm, basicamente realizou-se o peneiramento do material, moagem do material de granulometria >1,18mm e descarte do material < 0,6mm, conforme as fases a seguir:

- 1.** Obtenção do vidro britado na PRS Recicladora, aproximadamente 40kg.
- 2.** Transporte de 40kg do material para o Laboratório de Materiais de Construção da UFAC.
- 3.** Peneiramento manual do material (40kg) para obtenção da granulometria desejada
 - i.** Material desejado obtido ($0,6\text{mm} < \text{material} < 1,18\text{mm}$), aproximadamente 15Kg;
 - ii.** Material de descarte < 0,6mm, aproximadamente 10kg;
 - iii.** Material > 1,18mm, separado para rebitagem, aproximadamente 15kg, caso necessário;
- 4.** 1ª rebitagem de 5kg de material de vidro maior que > 1,18mm
- 5.** Peneiramento manual do material da 1ª rebitagem (5kg) para obtenção da granulometria desejada
 - i.** Material desejado obtido ($0,6\text{mm} < \text{material} < 1,18\text{mm}$), aproximadamente 2Kg;
 - ii.** Material de descarte < 0,6mm, aproximadamente 2kg;
 - iii.** Material > 1,18mm, separado para rebitagem, aproximadamente 1kg, caso necessário;
- 6.** 2ª rebitagem de 5kg de material de vidro maior que > 1,18mm

7. Peneiramento manual do material da 2ª rebitagem (5kg) para obtenção da granulometria desejada
 - i. Material desejado obtido ($0,6\text{mm} < \text{material} < 1,18\text{mm}$), aproximadamente 2Kg;
 - ii. Material de descarte $< 0,6\text{mm}$, aproximadamente 2kg;
 - iii. Material $> 1,18\text{mm}$, separado para rebitagem, aproximadamente 1kg, caso necessário;
8. 3ª rebitagem de 5kg de material de vidro maior que $> 1,18\text{mm}$
9. Peneiramento manual do material (5kg) para obtenção da granulometria desejada
 - i. Material desejado obtido ($0,6\text{mm} < \text{material} < 1,18\text{mm}$), aproximadamente 2,5Kg;
 - ii. Material de descarte $< 0,6\text{mm}$, aproximadamente 1,5kg;
 - iii. Material $> 1,18\text{mm}$, separado para rebitagem, aproximadamente 1kg, caso necessário;
10. 4ª rebitagem de 5kg de material de vidro maior que $> 1,18\text{mm}$
11. Peneiramento manual do material (5kg) para obtenção da granulometria desejada
 - i. Material desejado obtido ($0,6\text{mm} < \text{material} < 1,18\text{mm}$), aproximadamente 2,5Kg;
 - ii. Material de descarte $< 0,6\text{mm}$, aproximadamente 1,5kg;
 - iii. Material $> 1,18\text{mm}$, separado para rebitagem, aproximadamente 1kg, caso necessário;
12. 5ª rebitagem de 5kg de material de vidro maior que $> 1,18\text{mm}$
13. Peneiramento manual do material (5kg) para obtenção da granulometria desejada
 - i. Material desejado obtido ($0,6\text{mm} < \text{material} < 1,18\text{mm}$), aproximadamente 2,5Kg;
 - ii. Material de descarte $< 0,6\text{mm}$, aproximadamente 1,5kg;
 - iii. Material $> 1,18\text{mm}$, separado para rebitagem, aproximadamente 1kg, caso necessário;

As Figura 3.43 e Figura 3.44 apresentam o vidro peneirado na granulometria desejada para os estudos, retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,18mm.

Figura 3.43 – Vidro peneirado na granulometria desejada ($0,6\text{mm} < \text{vidro} < 1,18\text{mm}$).



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.44 – Vidro peneirado na granulometria desejada ($0,6\text{mm} < \text{vidro} < 1,18\text{mm}$).



Fonte: Própria (2021).

Já as Figura 3.45 e Figura 3.46 apresentam o comparativo entre o vidro fornecido pela empresa PRS (várias granulometrias) e o vidro peneirado na granulometria desejada, retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,18mm.

**Figura 3.45 – Comparativo:
Vidro Triturado X Vidro Utilizado.**



Fonte: Própria (2021).

**Figura 3.46 – Comparativo:
Vidro Triturado X Vidro Utilizado.**



Fonte: Própria (2021).

3.3.2. Produção do Concreto

Após a realização dos ensaios de caracterização do material serão realizados os procedimentos de dosagem do concreto, para elaboração do traço do concreto e os betonas do concreto. Almeja-se dosar um concreto normal, de resistência característica a compressão igual a $f_{ck}=25\text{MPa}$ e abatimento de 100mm, designado conforme a norma brasileira, ABNT NBR 8953, concreto C25 S100. Será elaborado um traço referência sem a substituição de areia por vidro moído, que servirá de base para os outros traços com substituição parcial de 5%, 10%, 15% e 20% da areia por vidro moído. Para os traços com substituição parcial da areia será adotado o mesmo traço referência, onde serão realizadas correções pontuais caso sejam necessárias. Com os traços em mãos se iniciou a produção do concreto do estudo. Para facilitar o manuseio o material foi previamente medido e pesado, e separado em sacos plásticos, conforme pode ser visto na Figura 3.47.

Figura 3.47 – Materiais separados para concretagem.

Fonte: Própria (2021).

3.3.2.1. Ensaios Tecnológicos do Concreto

O concreto produzido passará por baterias de ensaios de acordo com as normas da ABNT, apresentadas na Tabela 3.26.

Tabela 3.26 – Ensaios tecnológicos do concreto

MATERIAL	DESCRIÇÃO	NORMA
Concreto Fresco	Massa específica	ABNT NBR 9833:2008 Versão Corrigida:2009
	Abatimento de tronco cone (<i>Slump test</i>)	ABNT NBR 16889:2020
Concreto Endurecido	Massa específica	ABNT NBR 9778:2005 Versão Corrigida 2:2009
	Índice de vazios	ABNT NBR 9778:2005 Versão Corrigida 2:2009
	Absorção de água	ABNT NBR 9778:2005 Versão Corrigida 2:2009
	Resistencia à compressão	ABNT NBR 5739:2018

Fonte: Própria (2020).

Apenas o ensaio de compressão axial será realizado no laboratório de controle tecnológico da FUNTAC, utilizando uma prensa hidráulica controlada (Figura 3.48), serão rompidos corpos de prova (CP's) para os 7 e 28 dias de cura, previamente retificados no laboratório de materiais de construção da UFAC. O restante dos ensaios do concreto, serão realizados no laboratório de materiais de construção da UFAC.

Figura 3.48 – Prensa hidráulica da FUNTAC.

Fonte: Própria (2019).

3.3.2.2. Dosagem do concreto

Após todos os ensaios de caracterização dos materiais é possível dosar o concreto através do método do IBRACON, vale a pena deixar claro que ajustes deverão ser feitos para adequar o método para a realidade local. O método de dosagem do IBRACON possui alguns limites e recomendações a serem seguidos (Tabela 3.27).

Tabela 3.27 – Limites recomendados pelo Método IBRACON

DADOS	SIGLAS	UNID.	LIMITES MÉTODO DO IBRACON
resistência à compressão	fck	MPa	$5 \leq fck \leq 150$
relação água/cimento	a/c	-	$0,15 \leq a/c \leq 1,50$
abatimento (<i>slump</i>)	S	mm	$0 \leq S \leq \text{autoadensável}$
massa específica do concreto	$\gamma_{CONCRETO}$	Kg/m ³	$> 1500 \text{kg/m}^3$
teor de argamassa seca	α	%	$30 < \alpha < 90$
dimensão máxima do agregado graúdo	Dmax	mm	$4,8 \leq Dmax \leq 100$
relação água/ materiais secos	H	%	$5 < H < 12$
módulo de finura do agregado	MF	-	qualquer
granulometria dos agregados	-	-	qualquer

Fonte: Própria (2021).

O concreto experimental planejado para o estudo se baseia no concreto estrutural normatizado pela, ABNT NBR 8953, para o concreto estrutural experimental do estudo foi escolhido o C25 S100. Como o valor médio do índice de vazios do agregado graúdo é igual a 46,30%, é possível tomar a decisão de determinar a porcentagem de argamassa do concreto um valor de 47,00%.

Para o traço de projeto (1:a:p) primeiro se determina o traço intermediário (1:m), para através da relação entre os materiais secos e o cimento, se conseguiu um abatimento constante. No método do IBRACON, se recomenda realizar três traços, intermediários: um padrão médio (1:m), uma traça mais forte (1:m-1) e um traço mais fraco (1:m+1), com a finalidade de verificar qual desses se aproxima do concreto experimental desejado (C25 S100).

Nesta parte foi escolhido, para a primeira tentativa do traço intermediário, 1:m = 1:4, assim, utilizou-se como relação materiais secos, m=4. Após, se obter os resultados deste primeiro traço, se realizariam os traços forte ou fracos, caso fossem necessários, porém, para o presente estudo, o traço intermediário (1:m = 1:4) já obteve a resistência desejada (25 MPa), logo, não foram realizadas as dosagens para os traços intermediários forte e fraco. Assim, é possível realizar algumas determinações para o concreto experimental do estudo conforme pode ser visto na Tabela 3.28.

Tabela 3.28 – Concreto do Projeto

DADOS	SIGLAS	UNID.	CONCRETO EXPERIMENTAL	FÓRMULAS
resistência à compressão	fck	MPa	25	-
relação água/cimento	a/c	-	0,5	-
abatimento (<i>slumptest</i>)	S	mm	100±20	-
dimensão máx do agregado graúdo	Dmax	mm	12,5	-
módulo de finura do agregado	MF	-	1,32 (0%) 1,41 (5%) 1,50 (10%) 1,58 (15%) 1,65 (20%)	-
granulometria dos agregados	-	-	Brita nº 1	-
índice de vazios do agregado graúdo	Ev	%	46,3	$E_v = \frac{100[(\rho_s \cdot \rho_a) - \rho_{ap}]}{\rho_s \cdot \rho_a}$
teor de argamassa seca	α	%	47	$\alpha = \frac{1+a}{1+m} = \frac{1+a+p}{1+a+p}$
relação agregados secos/cimento	m	kg/kg	4	$m = a + p$
relação ag. miúdo seco/cimento	a	kg/kg	1,35	$a = [\alpha(1+m)] - 1$
relação agr. graúdo seco/cimento	p	kg/kg	2,65	$p = m - a$
relação água/ materiais secos	H	%	10	$H = \frac{a/c}{1+m}$

Fonte: Própria (2021).

Com os dados do teor de argamassa seca ($\alpha = 47\%$) e a relação agregados secos/cimento ($m = 4$), é possível determinar a relação agregado miúdo seco/cimento (a), através da Equação 7:

$$\begin{aligned}
 a &= [\alpha(1 + m)] - 1 && \text{Equação 7} \\
 a &= [0,47(1 + 4)] - 1 \\
 a &= 1,35
 \end{aligned}$$

Com a determinação da relação agregado miúdo seco/cimento ($a = 1,35$) e a relação agregados secos/cimento ($m = 4$), é possível determinar a relação agregado graúdo seco/cimento (p), através da Equação 8:

$$\begin{aligned}
 m &= a + p && \text{Equação 8} \\
 p &= m - a \\
 p &= 4 - 1,35 \\
 p &= 2,65
 \end{aligned}$$

Assim, é possível chegar no traço unitário experimental inicial do estudo, relembrando, que o estudo utilizará vidro moído, como substituto parcial da areia do rio Acre na produção de concreto, nas porcentagens 5, 10, 15 e 20%, logo, é possível determinar também os traços unitários conforme as porcentagens da substituição de areia por vidro moído.

A Tabela 3.29 apresenta os traços unitários e em massa, planejados para a produção e dosagens dos concretos do estudo.

Tabela 3.29 – Traços unitários e em massa do concreto planejado.

% Vidro	UNITÁRIO					MASSA (kg)				
	Cimento c	Areia a	Vidro v	Brita p	Água a/c	Cimento c	Areia a	Vidro v	Brita p	Água a/c
0	1	1,35	-	2,65	0,5	20	27	-	53	10
5	1	1,2825	0,0675	2,65	0,5	20	25,65	1,35	53	10
10	1	1,215	0,135	2,65	0,5	20	24,3	2,7	53	10
15	1	1,1475	0,2025	2,65	0,5	20	22,95	4,05	53	10
20	1	1,08	0,27	2,65	0,5	20	21,6	5,4	53	10

Fonte: Própria (2021).

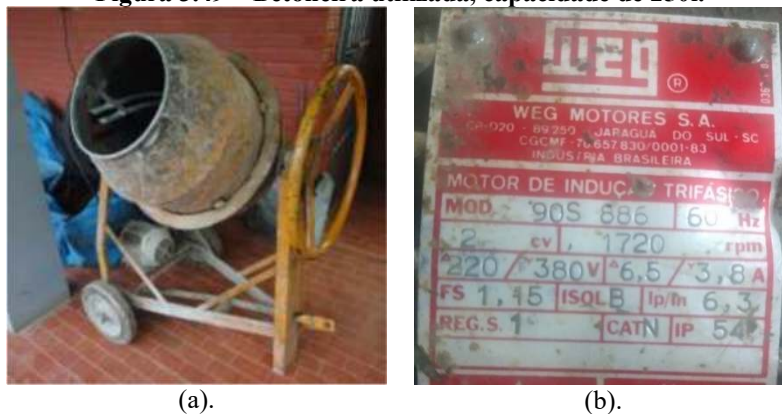
3.3.2.3. Betonadas

Para as betonadas de concreto, se utilizou a betoneira do laboratório de materiais de construção da UFAC (Figura 3.49), que possui as seguintes características:

- Capacidade: 250 litros
- Potência: 2cv
- Tensão: 380v (trifásica)

Rotações: 1720rpm

Figura 3.49 – Betoneira utilizada, capacidade de 250L.



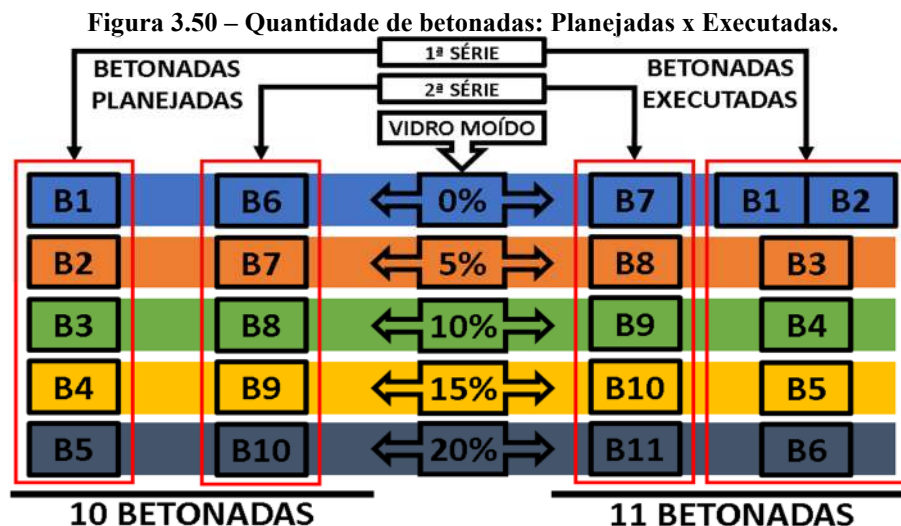
(a).

(b).

Fonte: Própria (2021).

A. Betonadas - Parte Informativa

Foram planejadas 10 (dez) betonadas para os concretos, que seriam separadas em duas séries, porém, foram executadas 11 (onze) betonadas, a Figura 3.50 apresenta o comparativo das quantidades de betonadas planejadas e executadas.



Fonte: Própria (2021).

Em cada betonada se realizaram os ensaios tecnológicos do concreto fresco, sendo eles:

- Abatimento no Tronco Cônico (*Slumptest*) (ABNT NBR 16889:2020) – 1 (uma) amostra por betonada
- Massa Específica do Concreto Fresco (ABNT NBR 9833:2008 Versão Corrigida:2009) – 2 (duas) amostras por betonada

Após os ensaios do concreto fresco foram moldados 20 corpos de prova em cada betonada, a Tabela 3.30 apresenta as datas das betonadas, nomenclaturas, quantidade de corpos de prova, bem como quantidade utilizados para ensaios de rompimento, densidade do concreto rígido, absorção d'água e índice de vazios.

Tabela 3.30 – Traços unitários e em massa do concreto planejado.

BETONADAS		DATAS				CORPOS DE PROVA				
SÉRIE	Nº	% VIDRO	Betonada	Rompimentos		Quant. Total	Rompimento		Densidade Absorção e vazios	Nº
1ª	B1	0	14/04/2021	21/04/2021	12/05/2021	20	8	8	4	100
	B2	0	22/04/2021	29/04/2021	20/05/2021	20	8	8	4	200
	B3	5	29/04/2021	06/05/2021	27/05/2021	20	8	8	4	300
	B4	10	04/05/2021	11/05/2021	01/06/2021	20	8	8	4	400
	B5	15	13/05/2021	20/05/2021	10/06/2021	20	8	8	4	500
	B6	20	18/05/2021	25/05/2021	15/06/2021	20	8	8	4	600
2ª	B7	0	25/05/2021	01/06/2021	22/06/2021	20	8	8	4	700
	B8	5	27/05/2021	03/06/2021	24/06/2021	20	8	8	4	800
	B9	10	01/06/2021	08/06/2021	29/06/2021	20	8	8	4	900
	B10	15	03/06/2021	10/06/2021	01/07/2021	20	8	8	4	1000
	B11	20	08/06/2021	15/06/2021	06/07/2021	20	8	8	4	1100

Fonte: Própria (2021).

A nomenclatura das betonadas remota a ordem em que foram executadas, sendo a betonada B1 a primeira e a betonada B11 a última.

A numeração dos corpos de prova seguiu a seguinte ordem, para a betonada B1 os corpos de prova foram numerados de 101 a 120, para a betonada B2 os corpos de prova foram numerados de 201 a 220, para a betonada B3 os corpos de prova foram numerados de 301 a 320, e assim sucessivamente, para as outras betonadas.

As betonadas foram divididas em duas séries, sendo a primeira série, composta pelas betonadas B1 a B6 e a segunda série de betonadas, compostas pelas betonadas B7 a B11.

B. Betonadas - Parte Prática

Na execução das betonadas seguiram-se a ordem estabelecida pelo método do IBRACON conforme a Tabela 3.31, apresenta a ordem de colocação do material na betoneira e procedimentos planejados e como os mesmo realmente foram executados. A

Figura 3.51 apresenta a calda de argamassa executada antes das betonas, em todas as betonadas foram executados o processo de imprimir na betoneira, com uma argamassa, conforme recomenda o método de dosagem do IBRACON, após se proceder a execução da betonadas.

Tabela 3.31 – Ordem de entrada do material na betoneira.

Nº	DESCRIÇÃO PANEJADA	OBSERVAÇÕES IN-LOCO
01	Primeiro, a betoneira será umedecida com 500ml de água;	Seguido sem alterações.
02	A betoneira foi imprimada com uma porção de argamassa (> 20kg), no traço 1:2, a/c < 0,6. Deixar o material excedente cair livremente, quando a betoneira estiver com a abertura (boca) para baixo e em movimento;	Adicionados: 7kg de cimento, 14kg de areia do rio acre e 4,5l de água. (c:a:a/c) (1:2:0,64). Para se conseguir a mistura adequada da argamassa, foi necessária uma relação a/c maior que 0,6. Se imprimou toda a betoneira por 2 minutos, depois se deixou o material cair livremente. (Figura 3.51)
03	Será colocado todo o agregado graúdo;	Seguido sem alterações.
04	Em seguida, serão adicionados, aproximadamente, 3/4 da água de amassamento;	Adicionados 8 (nove) litros de água. (Figura 3.51c)
05	Após adicionar os 3/4 da água se aguardará 60s, na tentativa de deixar a brita úmida;	Seguido sem alterações.
06	Posteriormente, será adicionado todo o cimento;	Seguido sem alterações.
07	Em seguida, será adicionado mais um litro da água de amassamento;	Adicionado 1 (um) litro de água. (Figura 3.51c)
08	Após adicionar mais um litro da água se aguardará 60s, na tentativa de melhorar a mistura;	Seguido sem alterações.
09	Em seguida será adicionado a areia;	Seguido sem alterações.
10	Depois será adicionado o vidro moído, quando necessário;	Seguido sem alterações, quando em traços com vidro moído.
11	Em seguida será adicionado o restante da água.	Adicionado 1,5 (um e meio) litro de água, de maneira fracionada. (Figura 3.51c) Algumas betonas tiveram essa quantidade alterada, conforme se achou necessário no momento.
12	Ao final da adição de todos os materiais na betoneira, serão aguardados 5 (cinco) minutos, na tentativa de melhorar a mistura, se realizando movimentos no tambor da betoneira.	Seguido sem alterações, quando em traços com vidro moído.

Fonte: Própria (2021).

Figura 3.51 – Argamassa executada antes das concretagens e água adicionada.**Fonte: Própria (2021).**

Vale a pena comentar, que, a quantidade total de água da mistura ficou em torno de 10,5 (dez e meio) litros de água, o que eleva a relação a/c dos 0,5 planejados para 0,525; tal decisão foi tomada, pois, a quantidade de 10 (dez) litros de água, inicialmente planejada, apresentava a trabalhabilidade da mistura em linguagem popular ainda “seca”, ou seja, pouco trabalhável, com o acréscimo de mais 0,5 (meio) litro de água, a mistura demonstrou uma trabalhabilidade melhor em análise visual, também, faz-se necessário o comentário que a adição de mais meio litro de água pode reduzir um pouco a resistência característica do concreto. Muitas vezes são necessárias pequenas alterações na quantidade de água da mistura, afim de se conseguir a melhor trabalhabilidade para o concreto, isso depende de inúmeros fatores: condições climáticas, temperatura, experiência do operador da betoneira, dentre muitas outras. Tais alterações são consideradas normais em uma obra, não sendo diferente em ensaios de laboratório.

3.3.2.4. *Forma, Desforma, Retificação e Cura*

A moldagem e cura dos corpos de prova seguiu a normalização ABNT NBR 5738. Foram utilizados moldes metálicos de dimensões: 200 x 100mm. Foi trabalhado o adensamento manual, conforme a norma já citada, para corpos de prova com base de 100mm, o adensamento manual deve ser executado em duas camadas com 12 golpes da haste de metálica em cada camada.

A Figura 3.52 apresenta os corpos de prova de uma das concretagens, já moldados, por sobre os mesmos se colocou uma lona plástica. Após 24h da moldagem se executou a desforma dos corpos de prova, conforme a Figura 3.53. Por fim, a Figura 3.54 mostra os tanques de cura onde os corpos de prova repousaram para os procedimentos de cura.

Figura 3.52 – Corpos de prova moldados.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.53 – Desformas dos corpos de prova.



Fonte: Própria (2021).

Figura 3.54 – Cura dos corpos de prova.



Fonte: Própria (2021).

Após 7 e 28 dias no tanque de cura, 8 (oito) corpos de prova para cada época (8 CP's para 7 dias de cura e 8CP's para 28 dias de cura) eram removidos do tanque, para serem retificados e levados ao laboratório de argamassas e concreto da FUNTAC para rompimentos, a Figura 3.55 mostra os corpos de prova e a retificadora em que foram trabalhados, no laboratório de materiais de construção da UFAC.

Figura 3.55 – Retificação dos corpos de prova.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Própria (2021).

Os últimos 4 (quatro) corpos de prova de cada betonada, foram retirados do tanque de cura com 28 dias e passavam também por retificação, porém os mesmos eram destinados aos procedimentos dos ensaios da massa específica, absorção d'água e índice de vazios do concreto, conforme a norma ABNT NBR 9778.

3.3.3. Dados Estatísticos Utilizados para Análises

Após a execução dos inúmeros ensaios, os conjuntos de todos os dados obtidos necessitam serem analisados, para se verificar tendências, localização e a dispersão dos dados e assim, identificar melhorias a serem feitas e nortear estudos futuros.

Para análise dos resultados se utilizou estudos estatísticos através das medidas de tendências central, as medidas de localização e as medidas de dispersão, sendo utilizados os conceitos, descritos no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Medidas de tendência, localização e dispersão – Definições.

MEDIDAS DE TENDÊNCIAS	SIGLA	DEFINIÇÕES
ROL	-	Amostra dos dados estudados organizados em ordem crescente ou decrescente.
MÉDIA ARITMÉTICA	Me	É o resultado da soma de todas as informações de um conjunto de dados dividida pelo número de informações que foram somadas.
QUARTIL	Q	É qualquer um dos três valores que divide o conjunto ordenado de dados em quatro partes iguais, e assim cada parte representa 1/4 da amostra ou população.
1º QUARTIL	Q1	O primeiro quartil ou quartil inferior, corresponde aos primeiros 25% dos dados da amostra.
MEDIANA (2º QUARTIL)	Md Q2	Se o conjunto de informações for numérico e estiver organizado em ordem crescente ou decrescente, a sua mediana será o número que ocupa a posição central da lista. O segundo quartil corresponde ao intervalo entre 25 e 50% dos dados da amostra. Logo é correto afirmar, que, a mediana é igual ao segundo quartil.
3º QUARTIL	Q3	O terceiro quartil ou quartil superior, corresponde ao intervalo entre 50 e 75% dos dados da amostra.
AMPLITUDE INTERQUARTIL	IQR	A diferença entre os quartis superior e inferior chama-se amplitude interquartil.
LIMITES	-	Os limites de valores ou valores adjacentes, delimitam os valores dos dados da amostra que podem ser considerados coerentes se comparados aos dados totais da amostra.
LIMITES SUPERIORES	UAV	Os limites superiores ou valor superior adjacente (UAV) é a maior observação que é menor ou igual ao limite interno superior (UIF), é o limite de valores superiores que se são considerados coerentes dentro dos dados da amostra.
LIMITES INFERIORES	LAV	Os limites inferiores ou valor inferior adjacente (LAV) é a menor observação que é maior ou igual ao limite interno inferior (UIF), é o limite de valores inferiores que se são considerados coerentes dentro dos dados da amostra.
OUTLIERS	Out.	Outliers ou fora de padrão, são dados que se distinguem dos demais, são os valores que se distanciam da coerência se comparados aos dados da amostra. São os valores que ultrapassam os limites, para ambas amplitudes superior ou inferior.
VARIÂNCIA	S ²	É uma medida de dispersão que mostra quão distantes os valores estão da média.
DESVIO PADRÃO	S	É simplesmente o resultado positivo da raiz quadrada da variância. Na prática, o desvio padrão indica qual é o “erro” se quiséssemos substituir um dos valores coletados pelo valor da média.
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	CV	O coeficiente de variação analisa a dispersão em termos relativos, ele será dado em %. Quanto menor for o valor do coeficiente de variação, mais homogêneos serão os dados, ou seja, menor será a dispersão em torno da média. De uma forma geral, se o CV: <ul style="list-style-type: none"> • For menor ou igual a 15% → baixa dispersão: dados homogêneos • For entre 15 e 30% → média dispersão • For maior que 30% → alta dispersão: dados heterogêneos

Fonte: Adaptado de Mundo Educação (2020).

Já o Quadro 3.4 apresenta as equações das medidas utilizadas para os cálculos, vale a pena lembrar que o cálculo de qualquer medida é apenas um numeral, necessitando da análise humana para que os mesmos sejam interpretados, logo a análise humana é indispensável.

Quadro 3.4 – Medidas de tendência, localização e dispersão - Equações

MEDIDAS DE TENDÊNCIAS	SIGLA	EQUAÇÃO	EQUAÇÃO
MÉDIA ARITMÉTICA	Me	$Me = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n}$	Equação 9
1º QUARTIL	Q1	$Q1 = \frac{n-1}{4}$	Equação 10
MEDIANA (2º QUARTIL)	Md ou Q2	$Q2 = \frac{n-1}{2}$	Equação 11
3º QUARTIL	Q3	$Q3 = \frac{3(n-1)}{4}$	Equação 12
AMPLITUDE INTERQUARTIL	IQR	$Q3 - Q1$	Equação 13
LIMITES SUPERIORES	UAV	$UAV = Me + 1,5 \times IQR$	Equação 14
LIMITES INFERIORES	LAV	$LAV = Me - 1,5 \times IQR$	Equação 15
OUTLIERS	Out.	$N_n > UAV$ ou $N_n < LAV$	Equação 16
VARIÂNCIA	S ²	$S^2 = \frac{\sum(N_n - Me)^2}{n-1}$	Equação 17
DESVIO PADRÃO	S	$S = \sqrt{\frac{\sum(N_n - Me)^2}{n-1}}$	Equação 18
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	CV	$CV = \frac{S}{Me} \times 100$	Equação 19

Fonte: Própria(2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. PREÇOS DOS INSUMOS DO CONCRETO ESTRUTURAL

Um dos objetivos do presente trabalho é teórico e compara os preços dos principais insumos para elaboração do concreto estrutural: cimento, agregado miúdo e agregado graúdo. Com a finalidade de mostrar a situação atípica do Acre, quanto a condição de materiais disponíveis, principalmente, o material britado, já que, o estado não possui formações rochosas para extração.

Para melhorar o comparativo, foram coletados os preços do SINAPI de 2019 de janeiro a dezembro, para os estados do Acre, Rondônia, Pará, Distrito Federal e São Paulo.

Lembrando que de acordo com a CAIXA (2020):

Nos relatórios publicados na página da CAIXA, o usuário do SINAPI tem à disposição a informação da origem de preços para cada insumo por localidade, sendo oportuno observar a seguinte notação no relatório de insumos:

- **C - Coletado:** Correspondente a preço coletado pelo IBGE adotado para o mês de referência do relatório;
- **CR - Coeficiente de Representatividade:** Correspondente a preço obtido por meio do coeficiente de representatividade do insumo (metodologia família homogênea de insumos);
- **AS - Atribuído São Paulo:** Correspondente a preço atribuído com base no preço do insumo para a localidade de São Paulo (devido à impossibilidade de definição de preço para localidade em função da insuficiência de dados coletados).

4.1.1. Preço do Cimento Portland

O SINAPI apresenta vários cimentos portland, porém, optou-se por comparar os insumos: CP II 32 por Kg e por saco de 50Kg e o CP IV 32 por Kg e por saco de 50Kg, o cimento portland que será utilizado nos ensaios do presente estudo será o CP IV 32 da fabricante ITAÚ em sacos de 50Kg.

A Tabela 4.1 apresenta o comparativo de preços do CP II 32 e CP IV32 de unidade Kg, já a Tabela 4.2 apresenta os preços dos mesmos cimentos portland com unidade do saco de 50Kg.

Tabela 4.1 – Preços dos insumos CP II 32 e CP IV 32 em unidade Kg.

CÓDIGO MATERIAL UNIDADE ORIGEM UF	1379 CP II-32 KG					34753 CP IV-32 KG				
	CR AC	CR RO	CR PA	CR DF	CR SP	CR AC	CR RO	CR PA	CR DF	CR SP
JAN	0,76	0,72	0,67	0,41	0,40	0,73	0,69	0,64	0,39	0,39
FEV	0,77	0,71	0,68	0,41	0,39	0,74	0,68	0,65	0,39	0,38
MAR	0,75	0,71	0,73	0,41	0,40	0,73	0,68	0,70	0,39	0,38
ABR	0,76	0,67	0,73	0,42	0,39	0,73	0,65	0,71	0,40	0,38
MAI	0,76	0,68	0,73	0,40	0,39	0,73	0,65	0,71	0,38	0,38
JUN	0,73	0,71	0,73	0,41	0,40	0,70	0,68	0,71	0,40	0,38
JUL	0,73	0,70	0,73	0,41	0,39	0,70	0,67	0,71	0,40	0,38
AGO	0,75	0,70	0,73	0,40	0,39	0,72	0,67	0,70	0,38	0,38
SET	0,76	0,71	0,73	0,43	0,39	0,73	0,68	0,71	0,41	0,38
OUT	0,78	0,71	0,73	0,43	0,39	0,75	0,68	0,71	0,41	0,37
NOV	0,78	0,70	0,73	0,43	0,38	0,75	0,68	0,71	0,41	0,37
DEZ	0,76	0,71	0,74	0,43	0,38	0,73	0,68	0,71	0,42	0,37
MÉDIA	0,76	0,70	0,72	0,42	0,39	0,73	0,67	0,70	0,40	0,38
MEDIANA	0,76	0,71	0,73	0,41	0,39	0,73	0,68	0,71	0,40	0,38
MODA	0,76	0,71	0,73	0,41	0,39	0,73	0,68	0,71	0,39	0,38
MENOR	0,73	0,67	0,67	0,40	0,38	0,70	0,65	0,64	0,38	0,37
MAIOR	0,78	0,72	0,74	0,43	0,40	0,75	0,69	0,71	0,42	0,39
REFERÊNCIA	0,78	0,72	0,74	0,43	0,40	0,75	0,69	0,71	0,42	0,39
RELAÇÃO	0%	-8%	-5%	-45%	-49%	0%	-8%	-5%	-44%	-48%
UF	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP

Fonte: Própria (2020).

Tabela 4.2 – Preços dos insumos CP II 32 e CP IV 32 em unidade de sacos de 50Kg.

CÓDIGO MATERIAL UNIDADE ORIGEM UF	10511 CP II-32 (Saco de 50Kg) 50KG					1382 CP IV-32 (Saco de 50Kg) 50KG				
	C AC	C RO	C PA	C DF	C SP	CR AC	CR RO	CR PA	CR DF	CR SP
JAN	38,25	36,25	33,55	20,70	20,38	36,86	34,93	32,33	19,94	19,63
FEV	38,50	35,50	34,07	20,50	19,90	37,10	34,21	32,83	19,75	19,17
MAR	37,93	35,50	36,80	20,50	20,00	36,55	34,21	35,46	19,75	19,27
ABR	38,04	33,90	36,95	21,00	19,90	36,65	32,66	35,60	20,23	19,17
MAI	38,08	34,00	36,95	20,20	19,90	36,69	32,76	35,60	19,46	19,17
JUN	36,50	35,75	36,95	20,90	20,00	35,17	34,45	35,60	20,14	19,27
JUL	36,50	35,25	36,95	20,90	19,95	35,17	33,96	35,60	20,14	19,22
AGO	37,50	35,00	36,56	20,20	19,99	36,13	33,72	35,23	19,46	19,26
SET	38,25	35,50	36,90	21,50	19,99	36,86	34,21	35,55	20,71	19,26
OUT	39,25	35,50	36,90	21,70	19,60	37,82	34,21	35,55	20,91	18,88
NOV	39,25	35,40	36,99	21,70	19,29	37,82	34,11	35,64	20,91	18,58
DEZ	38,25	35,50	37,00	21,90	19,29	36,86	34,21	35,65	21,10	18,58
MÉDIA	38,03	35,25	36,38	20,98	19,85	36,64	33,97	35,05	20,21	19,12
MEDIANA	38,17	35,50	36,93	20,90	19,93	36,78	34,21	35,58	20,14	19,20
MODA	38,25	35,50	36,95	20,50	19,90	36,86	34,21	35,60	19,75	19,17
MENOR	36,50	33,90	33,55	20,20	19,29	35,17	32,66	32,33	19,46	18,58
MAIOR	39,25	36,25	37,00	21,90	20,38	37,82	34,93	35,65	21,10	19,63
REFERÊNCIA	39,25	36,25	37,00	21,90	20,38	37,82	34,93	35,65	21,10	19,63
RELAÇÃO	0%	-8%	-6%	-44%	-48%	0%	-8%	-6%	-44%	-48%
UF	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP

Fonte: Própria (2020).

Com a finalidade de melhorar a visualização resumida dos preços dos insumos de cimento portland a Tabela 4.3 apresenta todos os cimentos portland cotados com os preços de referência adotados, para todos foram utilizados como referência o maior preço no ano. Com os preços referências foi verificado a relação percentual de diferença, em relação ao preço do Estado do Acre.

Tabela 4.3 – Preços dos insumos CP II 32 e CP IV 32 em unidade de Kg e sacos de 50Kg.

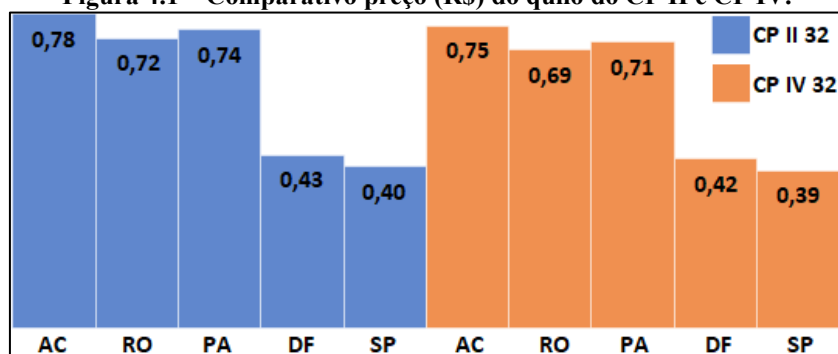
CÓDIGO	MATERIAL	UNIDADE	ORIGEM	UF	REFERÊNCIA	RELAÇÃO
1379	CP II-32	KG	CR	AC	0,78	0%
			CR	RO	0,72	-8%
			CR	PA	0,74	-5%
			CR	DF	0,43	-45%
			CR	SP	0,40	-49%
34753	CP IV-32	KG	CR	AC	0,75	0%
			CR	RO	0,69	-8%
			CR	PA	0,71	-5%
			CR	DF	0,42	-44%
			CR	SP	0,39	-48%
10511	CP II-32	50KG	C	AC	39,25	0%
			C	RO	36,25	-8%
			C	PA	37,00	-6%
			C	DF	21,90	-44%
			C	SP	20,38	-48%
1382	CP IV-32	50KG	CR	AC	37,82	0%
			CR	RO	34,93	-8%
			CR	PA	35,65	-6%
			CR	DF	21,10	-44%
			CR	SP	19,63	-48%

Fonte: Própria (2020).

Como pode ser visto na Tabela 4.3, os preços do quilo e do saco de cimento portland é mais caro no Acre do que nos outros estados cotados. No estado vizinho Rondônia, que é grande fornecedor de insumos ao Acre, o quilo e o saco de cimento portland é 8% mais barato que o acreano. Já no Pará o quilo do cimento e o saco de cimento são 5% e 6% mais baratos, respectivamente, que o acreano. No Distrito Federal o quilo do cimento e o saco de cimento são 45% e 44% mais baratos, respectivamente, que o acreano. Por fim, em São Paulo o quilo do cimento e o saco de cimento são 49% e 48% mais baratos, respectivamente, que o acreano.

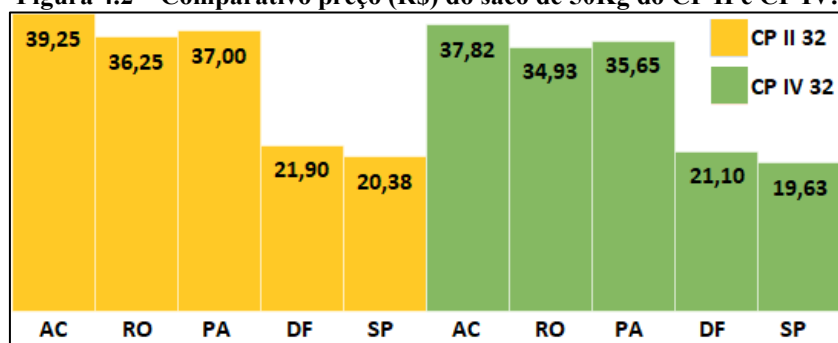
As Figura 4.1 e Figura 4.2 apresentam, respectivamente, os gráficos comparativos dos preços por quilo e pelo saco de 50kg dos cimentos portland.

Figura 4.1 – Comparativo preço (R\$) do quilo do CP II e CP IV.



Fonte: Própria (2020).

Figura 4.2 – Comparativo preço (R\$) do saco de 50Kg do CP II e CP IV.



Fonte: Própria (2020).

Contrariando o ditado entre os engenheiros acreanos, que diz: “Tudo que é produzido fora do estado é mais caro, pois se paga o frete e o material”, o cimento portland nos estados do norte: Acre, Rondônia e Pará, não apresentam uma variação muito grande, podendo ser considerados similares e coerentes. Já os outros Distrito Federal e São Paulo, os quais são polos densamente populosos e industrializados, apresentam cimento mais barato em uma faixa de 45% a 50% em relação ao Acre.

4.1.2. Preço do Agregado Miúdo

Assim como no cimento portland o SINAPI apresenta vários insumos de agregados miúdos, optou-se por comparar os insumos: Areia Fina, Areia Média, Areia Grossa e Pó de Pedra. A areia que será utilizada nos ensaios do presente estudo será a areia do Rio Acre que é uma areia considerada fina.

A Tabela 4.4 apresenta o comparativo de preços da areia fina e areia grossa, já a Tabela 4.5 apresenta os preços da areia média e do pó de pedra, todos os insumos de agregados miúdos comparados usam a unidade m³.

Tabela 4.4 – Preços dos insumos Areia Fina e Areia Grossa em unidade de m³.

CÓDIGO MATERIAL ORIGEM UF	366 Areia Fina - Posto Jazida/Fornecedor (Retirado Na Jazida, Sem Transporte)					367 Areia Grossa - Posto Jazida/Fornecedor (Retirado Na Jazida, Sem Transporte)				
	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP
JAN	35,00	60,00	45,00	96,56	65,00	54,50	60,00	40,00	95,39	63,00
FEV	35,00	60,00	45,00	96,56	65,00	55,00	60,00	40,00	95,42	65,00
MAR	35,00	60,00	45,00	92,41	51,00	54,50	60,00	40,00	95,42	65,00
ABR	34,00	60,00	45,00	92,41	48,50	54,50	60,00	40,00	106,15	68,97
MAI	40,00	60,00	45,00	92,41	52,50	54,50	60,00	40,00	116,35	67,47
JUN	40,00	65,00	45,00	92,41	52,50	54,50	60,00	40,00	116,35	73,05
JUL	40,00	65,00	45,00	95,00	52,50	54,50	60,00	40,00	116,35	73,05
AGO	40,00	65,00	45,00	95,00	52,50	61,84	60,00	40,00	116,35	75,00
SET	35,00	65,00	40,00	95,00	52,50	61,90	60,00	40,00	116,35	70,10
OUT	35,00	67,50	40,00	95,00	52,50	62,26	64,00	40,00	122,48	70,10
NOV	35,00	75,39	45,00	102,50	52,50	64,36	66,25	40,00	114,31	70,10
DEZ	35,00	75,84	45,00	105,00	41,00	64,12	66,25	40,00	106,15	70,10
MÉDIA	36,58	64,89	44,17	95,86	53,17	58,04	61,38	40,00	109,76	69,25
MEDIANA	35,00	65,00	45,00	95,00	52,50	54,75	60,00	40,00	115,33	70,10
MODA	35,00	60,00	45,00	92,41	52,50	54,50	60,00	40,00	116,35	70,10
MENOR	34,00	60,00	40,00	92,41	41,00	54,50	60,00	40,00	95,39	63,00
MAIOR	40,00	75,84	45,00	105,00	65,00	64,36	66,25	40,00	122,48	75,00
REFERÊNCIA	40,00	75,84	45,00	105,00	65,00	64,36	66,25	40,00	122,48	75,00
RELAÇÃO	0%	90%	13%	163%	63%	0%	3%	-38%	90%	17%
UF	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP

Fonte: Própria (2020).

Tabela 4.5 – Preços dos insumos Areia Média e Pó de Pedra em unidade de m³.

CÓDIGO MATERIAL ORIGEM UF	370 Areia Média - Posto Jazida/Fornecedor (Retirado Na Jazida, Sem Transporte)					4741 Pó de Pedra (Posto Pedreira/Fornecedor, Sem Frete)				
	C	C	C	C	C	CR	AS/CR	AS/CR	CR	CR
	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP
JAN	34,48	60,00	65,00	87,50	52,48	224,34	47,53	47,53	80,46	47,53
FEV	34,57	60,00	65,00	95,00	52,48	224,34	47,53	47,53	81,26	47,53
MAR	43,90	60,00	65,00	89,82	52,48	233,88	47,72	47,72	75,32	47,72
ABR	55,45	60,00	65,00	89,82	52,48	233,88	47,72	47,72	76,91	47,72
MAI	55,45	60,00	65,00	89,82	52,48	233,88	81,14	47,72	76,91	47,72
JUN	55,07	62,50	64,56	89,82	52,48	224,34	81,14	47,72	76,91	47,72
JUL	59,50	60,84	60,00	89,17	52,48	219,56	81,14	47,72	77,96	47,72
AGO	60,11	60,00	60,00	89,17	52,48	221,95	81,14	47,72	77,96	47,72
SET	60,44	60,00	60,00	89,17	52,48	221,95	81,14	47,72	79,55	47,72
OUT	60,44	65,00	59,00	93,34	52,48	229,11	81,14	47,72	79,55	47,72
NOV	62,34	65,00	59,00	95,00	52,48	229,11	81,14	50,87	79,55	50,87
DEZ	62,13	65,00	59,00	100,00	52,48	233,88	83,53	66,82	79,55	50,87
MÉDIA	53,66	61,53	62,21	91,47	52,48	227,52	70,17	49,54	78,49	48,21
MEDIANA	57,48	60,00	62,28	89,82	52,48	226,73	81,14	47,72	78,76	47,72
MODA	55,45	60,00	65,00	89,82	52,48	233,88	81,14	47,72	79,55	47,72
MENOR	34,48	60,00	59,00	87,50	52,48	219,56	47,53	47,53	75,32	47,53
MAIOR	62,34	65,00	65,00	100,00	52,48	233,88	83,53	66,82	81,26	50,87
REFERÊNCIA	62,34	65,00	65,00	100,00	52,48	233,88	83,53	66,82	81,26	50,87
RELAÇÃO	0%	4%	4%	60%	-16%	0%	-64%	-71%	-65%	-78%
UF	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP

Fonte: Própria (2020).

Vale a pena ressaltar que os preços do pó de pedra em Rondônia e no Pará utilizavam a cotação “AS”, ou seja, usava os preços do insumo correspondente ao estado de São Paulo, em Rondônia utilizou-se a cotação até abril de 2019, já o Pará até novembro de 2019.

Com a finalidade de melhorar a visualização resumida dos preços dos insumos de agregados miúdos a Tabela 4.6 apresenta todos os agregados miúdos cotados com os preços de referência adotados, para todos foram utilizados como referência o maior preço no ano. Com os preços referências foi verificado a relação percentual de diferença, em relação ao preço do Estado do Acre.

Tabela 4.6 – Preços dos insumos, agregados miúdos, unidade m³.						
CÓDIGO	MATERIAL	UNIDADE	ORIGEM	UF	REFERÊNCIA	RELAÇÃO
366	Areia Fina - Posto Jazida/Fornecedor (Retirado Na Jazida, Sem Transporte)	M3	C	AC	40,00	0%
			C	RO	75,84	90%
			C	PA	45,00	13%
			C	DF	105,00	163%
			C	SP	65,00	63%
367	Areia Grossa - Posto Jazida/Fornecedor (Retirado Na Jazida, Sem Transporte)	M3	C	AC	64,36	0%
			C	RO	66,25	3%
			C	PA	40,00	-38%
			C	DF	116,35	81%
			C	SP	75,00	17%
370	Areia Media - Posto Jazida/Fornecedor (Retirado Na Jazida, Sem Transporte)	M3	C	AC	62,34	0%
			C	RO	65,00	4%
			C	PA	65,00	4%
			C	DF	89,82	44%
			C	SP	52,48	-16%
4741	Pó de Pedra (Posto Pedreira/Fornecedor, Sem Frete)	M3	CR	AC	233,88	0%
			CR	RO	83,53	-64%
			CR	PA	66,82	-71%
			CR	DF	81,26	-65%
			CR	SP	50,87	-78%

Fonte: Própria (2020).

4.1.2.1. Relação de preços da Areia Fina

A Areia Fina, que se encontra em abundância do Acre, já que é a areia mais utilizada sendo retirada por dragagem do Rio Acre, no Acre esta possui o preço de R\$ 40,00. Rondônia possui preços desta de, aproximadamente, R\$ 76,00; um aumento de 90% em comparação ao Acre. O Pará possui preço para a areia fina de R\$ 45,00; um aumento de 13% em relação ao Acre. Já o Distrito Federal possui preço para esta R\$ 105,00; um aumento de 163% em relação ao Acre. Por fim, para a areia fina, São Paulo possui preço para a areia fina de R\$ 66,00, um aumento de 63% em relação ao Acre. Logo, em conclusões óbvias, a areia fina no acre é mais barata do que nos outros estados comparados.

4.1.2.2. *Relação de preços da Areia Grossa*

A Areia Grossa, pouco encontrada no estado, possuindo jazidas da mesma apenas na formação de cruzeiro do sul, apresentado no subitem “2.8.1.1. Formação Geológica do Estado do Acre”, Já no vale do Rio Acre, pouco se utiliza areia grossa, pela dificuldade de encontrá-la, sendo na maioria das vezes utilizado pó de pedra, quando se necessita de uma granulometria maior para o agregado miúdo. Logo, é correto afirmar que o preço cotado para a Areia Grossa pela Caixa e IBGE através do SINAPI para o Acre, não traduz a realidade do Estado.

O preço da Areia Grossa identificado pelo SINAPI no estado do Acre é de aproximadamente R\$ 64,00; porém como dito anteriormente, este valor está fora da realidade acreana. Para Rondônia o preço da areia grossa é de, aproximadamente, R\$ 66,00; um aumento de 3% em relação ao preço cotado para o Acre. No Pará a areia grossa possui o menor preço dentre os identificados, R\$ 40,00; uma redução de 38% em relação ao preço cotado para o Acre. No Distrito Federal o preço da areia grossa é de, aproximadamente, R\$ 116,00; um aumento de 81% em relação ao preço cotado para o Acre. Em São Paulo o preço da Areia grossa é R\$ 75,00; um aumento de 17% em relação ao preço cotado para o Acre.

Mas uma vez se informa que a cotação da areia grossa feita pela CAIXA e IBGE no SINAPI é falha e não traduz a realidade acreana, infelizmente, não é possível nem se fazer a aquisição de areia grossa no comércio acreano, quando se faz necessidade de um agregado miúdo de granulometria maior, adquire-se o pó de pedra para a mistura.

4.1.2.3. *Relação de preços da Areia Média*

A Areia Média é o agregado miúdo que aparece nas composições de concreto estrutural do SINAPI, porém, assim como a Areia Grossa, está é pouco encontrada no estado, possuindo jazidas da mesma apenas na formação de cruzeiro do sul, apresentado no subitem “2.8.1.1. Formação Geológica do Estado do Acre”, Já no vale do Rio Acre, pouco se utiliza areia média, pela dificuldade de encontrá-la, quando se necessita de uma granulometria maior para o agregado miúdo, adquire-se o pó de pedra para a mistura. Logo, também, afirma-se neste trabalho que o preço cotado para a Areia Média pela CAIXA e IBGE através do SINAPI para o Acre, não traduz a realidade do Estado.

O preço da Areia Média identificada pelo SINAPI no estado do Acre é de aproximadamente R\$ 62,00; porém como dito anteriormente, este valor está fora da realidade

acreana. Para Rondônia o preço da areia média é de, R\$ 65,00; um aumento de 4% em relação ao preço cotado para o Acre. No Pará a areia média é de R\$ 65,00; um aumento de 4% em relação ao preço cotado para o Acre. No Distrito Federal o preço da areia média é de, aproximadamente, R\$ 90,00; um aumento de 44% em relação ao preço cotado para o Acre. Em São Paulo o preço da Areia grossa é de, aproximadamente, R\$ 52,00; uma redução de 16% em relação ao preço cotado para o Acre.

Mas uma vez se informa que, assim como a areia grossa, a cotação da areia média feita pela CAIXA e IBGE no SINAPI é falha e não traduz a realidade acreana, infelizmente, não é possível nem se fazer a aquisição de areia média no comércio acreano, quando se faz necessidade de um agregado miúdo de granulometria maior, adquire-se o pó de pedra para a mistura.

4.1.2.4. Relação de preços do Pó de Pedra

Como dito, anteriormente, a jazida de material britado mais próxima de Rio Branco, localiza-se no estado vizinho Rondônia, aproximadamente, a 250km de distância, no Distrito de Vista Alegre do Abunã/RO, logo, o material possui um preço, extremamente elevado se comparado aos outros estados.

No Acre o preço do pó de pedra comercial cotado pelo SINAPI é de, aproximadamente, R\$ 234,00 o metro cúbico. Já em Rondônia o preço é de, aproximadamente, R\$ 83,50 o metro cúbico, uma redução de 64% em relação ao preço cotado para o Acre. No Pará o preço do metro cúbico do pó de pedra é de, aproximadamente, R\$ 67,00; uma redução de 71% em relação ao preço cotado para o Acre. No Distrito Federal o preço do metro cúbico do pó de pedra é de, aproximadamente, R\$ 81,00, uma redução de 65% em relação ao preço cotado para o Acre. Por fim, em São Paulo o preço do metro cúbico do pó de pedra é de, aproximadamente, R\$ 51,00; uma redução de 78% em relação ao preço cotado para o Acre.

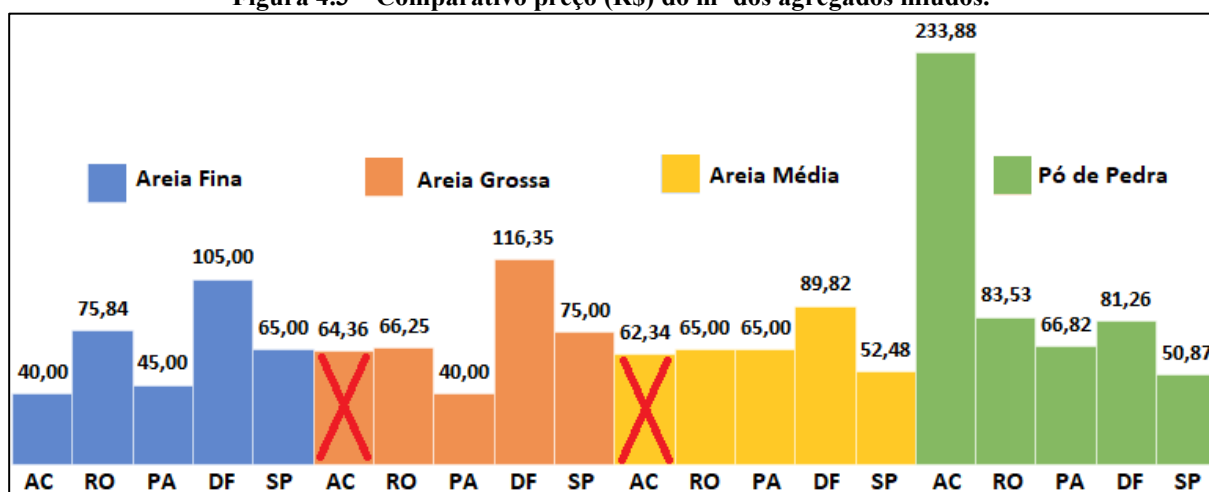
Por se tratar de um material importado de outro estado, incide sobre o preço do pó de pedra ao ser adquirido, obrigatoriamente, o valor do frete, para transporta-lo, há ainda, outros valores incidentes, como o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

Diferente do cimento, o ditado dos engenheiros acreanos, que diz: “Tudo que é produzido fora do estado é mais caro, pois se paga o frete e o material”. aqui parece ser verdadeiro, porém, não justifica valores até 3 vezes maiores que no estado do Acre, levando a crer em uma conclusão simples, por se tratar de um estado com poucas construções, se comparado aos outros estado, fornecedores de material britado escassos e jazidas oriundas de

outro estado, acaba por fazer com que os fornecedores pratiquem o preço desejado por eles mesmos.

Na Figura 4.3 é possível verificar e comparar os preços de todos os agregados miúdos, com destaque, para grande disparidade, do preço do pó de pedra no Acre. Também, não se pode deixar de lembrar que os preços da areia média e grossa apresentados pelo SINAPI, não condizem com a realidade, visto que esses materiais são comercializados apenas na Regional do Juruá, possuindo a capital e vale do Rio Acre, apenas a areia fina, extraída por dragagem do rio Acre.

Figura 4.3 – Comparativo preço (R\$) do m³ dos agregados miúdos.



Fonte: Própria (2020).

4.1.3. Preço do Agregado Graúdo

Mais uma vez, o SINAPI apresenta vários insumos de agregados graúdos, porém, optou-se por comparar os insumos: das Pedras Britadas Nº 0, Nº1, Nº 2 e Nº 3. O insumo da pedra britada que será utilizado nos ensaios do presente estudo será a Pedra Britadas Nº 1, adquirida no comércio local, oriundo da Pedreira Pedra Norte.

A Tabela 4.7 apresenta o comparativo de preços das Britas Nº 0 e Nº 1, já a Tabela 4.8 apresenta os preços das Britas Nº2 e Nº 3, todos os insumos de agregados graúdos comparados usam a unidade m³.

Assim como no pó de pedra, os preços do material britado em Rondônia e no Pará utilizavam a cotação “AS”, ou seja, usava os preços do insumo correspondente ao estado de São Paulo, em Rondônia utilizou-se a cotação até abril de 2019, já o Pará até novembro de 2019.

Tabela 4.7 – Preços dos insumos Pedra Britada N° 0 e N° 1 em unidade de m³.

CÓDIGO MATERIAL ORIGEM UF	4720 Pedra britada n.0 ou pedrisco (4,8 a 9,5mm) posto pedreira/fornec., s/ frete					4721 Pedra britada n.1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornec., s/ frete				
	CR	AS/CR	AS/CR	CR	CR	CR	AS/CR	AS/CR	CR	CR
	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP
	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP
JAN	300,07	63,57	63,57	107,62	63,57	235,02	49,79	49,79	84,29	49,79
FEV	300,07	63,57	63,57	108,70	63,57	235,02	49,79	49,79	85,13	49,79
MAR	312,83	63,83	63,83	100,74	63,83	245,02	49,99	49,99	78,90	49,99
ABR	312,83	63,83	63,83	102,87	63,83	245,02	49,99	49,99	80,57	49,99
MAI	300,07	108,53	63,83	102,87	63,83	235,02	85,00	49,99	80,57	49,99
JUN	300,07	108,53	63,83	102,87	63,83	235,02	85,00	49,99	80,57	49,99
JUL	293,68	108,53	63,83	104,28	63,83	230,02	85,00	49,99	81,67	49,99
AGO	296,87	108,53	63,83	104,28	63,83	232,52	85,00	49,99	81,67	49,99
SET	296,87	108,53	63,83	106,40	63,83	232,52	85,00	49,99	83,33	49,99
OUT	306,45	108,53	63,83	106,40	63,83	240,02	85,00	49,99	83,33	49,99
NOV	306,45	108,53	68,04	106,40	68,04	240,02	85,00	53,29	83,33	53,29
DEZ	312,83	111,72	89,38	106,40	68,04	245,02	87,50	70,00	83,33	53,29
MÉDIA	303,26	93,85	66,27	104,99	64,49	237,52	73,51	51,90	82,22	50,51
MEDIANA	300,07	108,53	63,83	105,34	63,83	235,02	85,00	49,99	82,50	49,99
MODA	300,07	108,53	63,83	106,40	63,83	235,02	85,00	49,99	83,33	49,99
MENOR	293,68	63,57	63,57	100,74	63,57	230,02	49,79	49,79	78,90	49,79
MAIOR	312,83	111,72	89,38	108,70	68,04	245,02	87,50	70,00	85,13	53,29
REFERÊNCIA	312,83	111,72	89,38	108,70	68,04	245,02	87,50	70,00	85,13	53,29
RELAÇÃO	0%	-64%	-71%	-65%	-78%	0%	-64%	-71%	-65%	-78%
UF	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP

Fonte: Própria (2020).

Tabela 4.8 – Preços dos insumos Pedra Britada N° 2 e N° 3 em unidade de m³.

CÓDIGO MATERIAL ORIGEM UF	4718 Pedra britada n.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornec., s/ frete					4722 Pedra britada n.3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornec., s/ frete				
	C	AS/C	AS/C	C	C	C	AS/C	AS/C	C	C
	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP
	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP
JAN	235,00	49,79	49,79	84,29	49,79	235,02	49,79	49,79	84,29	49,79
FEV	235,00	49,79	49,79	85,13	49,79	235,02	49,79	49,79	85,13	49,79
MAR	245,00	49,99	49,99	78,90	49,99	245,02	49,99	49,99	78,90	49,99
ABR	245,00	49,99	49,99	80,57	49,99	245,02	49,99	49,99	80,57	49,99
MAI	235,00	85,00	49,99	80,57	49,99	235,02	85,00	49,99	80,57	49,99
JUN	235,00	85,00	49,99	80,57	49,99	235,02	85,00	49,99	80,57	49,99
JUL	230,00	85,00	49,99	81,67	49,99	230,02	85,00	49,99	81,67	49,99
AGO	232,50	85,00	49,99	81,67	49,99	232,52	85,00	49,99	81,67	49,99
SET	232,50	85,00	49,99	83,33	49,99	232,52	85,00	49,99	83,33	49,99
OUT	240,00	85,00	49,99	83,33	49,99	240,02	85,00	49,99	83,33	49,99
NOV	240,00	85,00	53,29	83,33	53,29	240,02	85,00	53,29	83,33	53,29
DEZ	245,00	87,50	70,00	83,33	53,29	245,02	87,50	70,00	83,33	53,29
MÉDIA	237,50	73,51	51,90	82,22	50,51	237,52	73,51	51,90	82,22	50,51
MEDIANA	235,00	85,00	49,99	82,50	49,99	235,02	85,00	49,99	82,50	49,99
MODA	235,00	85,00	49,99	83,33	49,99	235,02	85,00	49,99	83,33	49,99
MENOR	230,00	49,79	49,79	78,90	49,79	230,02	49,79	49,79	78,90	49,79
MAIOR	245,00	87,50	70,00	85,13	53,29	245,02	87,50	70,00	85,13	53,29
REFERÊNCIA	245,00	87,50	70,00	85,13	53,29	245,02	87,50	70,00	85,13	53,29
RELAÇÃO	0%	-64%	-71%	-65%	-78%	0%	-64%	-71%	-65%	-78%
UF	AC	RO	PA	DF	SP	AC	RO	PA	DF	SP

Fonte: Própria (2020).

Com a finalidade de melhorar a visualização resumida dos preços dos insumos de agregados graúdos a Tabela 4.9 apresenta todos os agregados graúdos cotados com os preços de referência adotados, para todos foram utilizados como referência o maior preço no ano. Com

os preços referências foi verificado a relação percentual de diferença, em relação ao preço do Estado do Acre.

Tabela 4.9 – Preços dos insumos Pedra Britada Nº 0, Nº 1, Nº 2 e Nº 3 em unidade de m³.

CÓDIGO	MATERIAL	UNIDADE	ORIGEM	UF	REFERÊNCIA	RELAÇÃO
4720	Pedra britada n.0 ou pedrisco (4,8 a 9,5mm) posto pedreira/fornec., s/ frete	M3	CR	AC	312,83	0%
			CR	RO	111,72	-64%
			CR	PA	89,38	-71%
			CR	DF	108,70	-65%
			CR	SP	68,04	-78%
4721	Pedra britada n.1 (9,5 a 19 mm) posto pedreira/fornec., s/ frete	M3	CR	AC	245,02	0%
			CR	RO	87,50	-64%
			CR	PA	70,00	-71%
			CR	DF	85,13	-65%
			CR	SP	53,29	-78%
4718	Pedra britada n.2 (19 a 38 mm) posto pedreira/fornec., s/ frete	M3	C	AC	245,00	0%
			C	RO	87,50	-64%
			C	PA	70,00	-71%
			C	DF	85,13	-65%
			C	SP	53,29	-78%
4722	Pedra britada n.3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornec., s/ frete	M3	C	AC	245,02	0%
			C	RO	87,50	-64%
			C	PA	70,00	-71%
			C	DF	85,13	-65%
			C	SP	53,29	-78%

Fonte: Própria (2020).

4.1.3.1. Relação de preços da Brita Nº 0

Assim como o preço do pó de pedra no Acre, a brita 0, também, possui um preço elevadíssimo se comparado aos outros estados do comparativo, pelas mesmas razões do pó de pedra, a origem do material, que vem do estado vizinho Rondônia.

No Acre o preço do metro cúbico da brita 0 comercial cotado pelo SINAPI é de, aproximadamente, R\$ 313,00. Já em Rondônia o preço é de, aproximadamente, R\$ 112,00 o metro cúbico, uma redução de 64% em relação ao preço cotado para o Acre. No Pará o preço do metro cúbico da brita 0 é de, aproximadamente, R\$ 89,00; uma redução de 71% em relação ao preço cotado para o Acre. No Distrito Federal o preço do metro cúbico da brita 0 é de, aproximadamente, R\$ 109,00, uma redução de 65% em relação ao preço cotado para o Acre. Por fim, em São Paulo o preço do metro cúbico da brita 0 é de, aproximadamente, R\$ 68,00; uma redução de 78% em relação ao preço cotado para o Acre.

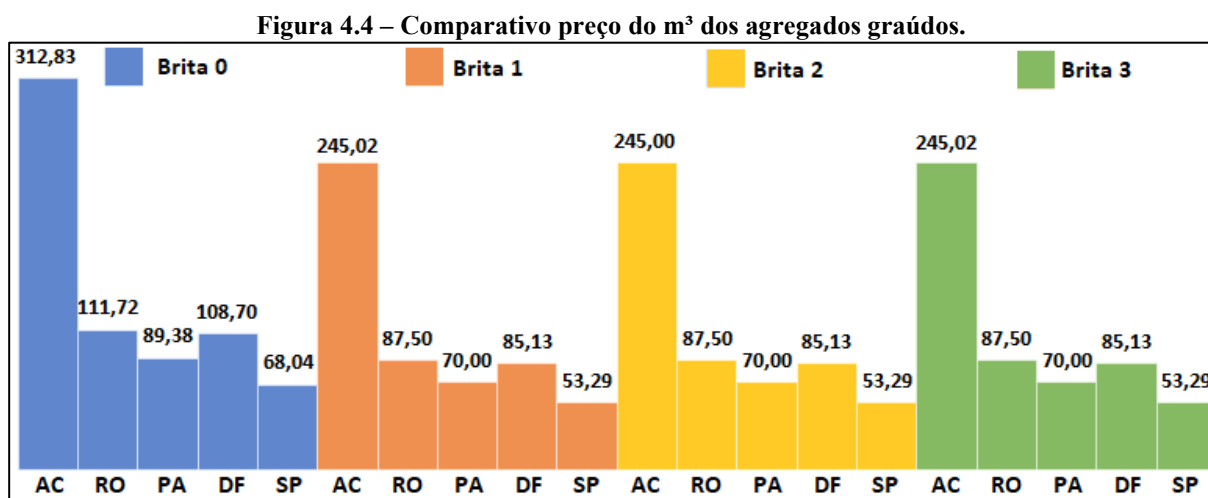
4.1.3.2. Relação de preços das Britas Nº 1, Nº2 e Nº3

Os materiais britados Nº 1, Nº 2 e Nº3, também, possui um preço elevadíssimo se comparado aos outros estados do comparativo, mais uma vez, pelas mesmas razões do pó de pedra, a origem do material, que vem do estado vizinho Rondônia.

Porém, os materiais britados Nº 1, Nº 2 e Nº3 apresentaram semelhança em seus preços, nos cinco estados do comparativo, verificou-se para os materiais britados Nº 1, Nº 2 e Nº3 em seus respectivos estados, praticamente, os mesmos preços cotados pelo SINAPI.

No Acre os materiais britados Nº 1, Nº 2 e Nº3 apresentaram os preços do metro cúbico de, aproximadamente, R\$ 245,00. Em Rondônia o preço do metro cúbico é de R\$ 87,50; uma redução de 64% em relação ao preço cotado para o Acre. No Pará o preço do metro cúbico é de, aproximadamente, R\$ 70,00; uma redução de 71% em relação ao preço cotado para o Acre. No Distrito Federal o preço do metro cúbico é de, aproximadamente, R\$ 85,00, uma redução de 65% em relação ao preço cotado para o Acre. Por fim, em São Paulo o preço do metro cúbico é de, aproximadamente, R\$ 53,00; uma redução de 78% em relação ao preço cotado para o Acre.

A conclusão para a grande diferença de valores entre o Acre e os outros estados é a mesma apresentada para o pó de pedra, por se tratar de um estado com poucas construções, se comparado aos outros estado, fornecedores de material britado escassos e jazidas oriundas de outro estado, acaba por fazer com que os fornecedores pratiquem o preço desejado por eles mesmos. Na Figura 4.4 é possível verificar e comprar os preços de todos os agregados graúdos cotados, com destaque, para grande disparidade, do preço do material no Acre.



Fonte: Própria (2020).

4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises dos resultados foram separadas de acordo com os estados do concreto, sendo eles: concreto fresco e concreto endurecido. Os resultados e dados dos ensaios dos concretos do estudo, podem serem visualizados por completo do Apêndice N do presente estudo.

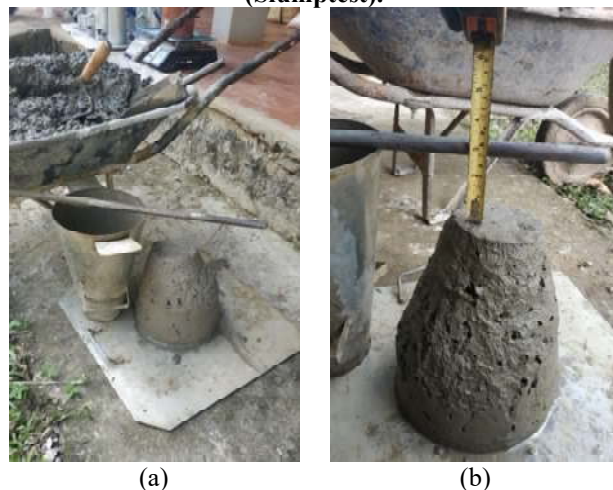
4.2.1. Concreto Fresco

4.2.1.1. Ensaios de Abatimento no Tronco Cônico (Slump test)

Em toda betonada se realizou o ensaio de abatimento do tronco cônico metálico (*slump test*) o ensaio é normatizado pela ABNT NBR 16889.

O ensaio consiste em encher o tronco cônico metálico em três camadas com aplicação de 25 golpes da haste metálica em cada camada, como adensamento e medir a diferença entre a altura do tronco cônico e o quando o concreto “desce” em milímetros. A Figura 4.5 apresenta um dos ensaios realizados. Já a Tabela 4.10 apresenta dos resultados dos ensaios realizados em todas as betonadas.

Figura 4.5 – Abatimento de tronco cônico (Slump test).



Fonte: Própria (2021).

Tabela 4.10 – Abatimento de tronco cônico do concreto fresco.

		DADOS DO TRAÇO						ABATIMENTO	
% Vidro	Betonadas N°	Datas	Cimento kg	Areia kg	Vidro kg	Brita kg	Água dm³	Relação a/c	(Slump test) mm
0	B1	14/04/2021	20	27	-	53	11	0,55	100
	B2	22/04/2021	20	27	-	53	11,5	0,575	120
	B7	25/05/2021	20	27	-	53	10,5	0,525	90
5	B3	29/04/2021	20	25,65	1,35	53	10,5	0,525	90
	B8	27/05/2021	20	25,65	1,35	53	10,5	0,525	90
10	B4	04/05/2021	20	24,3	2,7	53	10,35	0,5175	80
	B9	01/06/2021	20	24,3	2,7	53	10,5	0,525	90
15	B5	13/05/2021	20	22,95	4,05	53	10,6	0,53	100
	B10	03/06/2021	20	22,95	4,05	53	10,5	0,525	90
20	B6	18/05/2021	20	21,6	5,4	53	10,25	0,5125	90
	B11	08/06/2021	20	21,6	5,4	53	10,5	0,525	105

Fonte: Própria (2021).

Considerando o concreto projetado inicialmente, C25 S100, que previa o abatimento de 100mm, com uma variação aceitável de 20mm, para mais ou para menos, é correto afirmar, que, os abatimentos obtidos, para todos os concretos produzidos foram dentro dos limites estabelecidos, considerando o abatimento aprovado.

Visualmente a produção do concreto a relação água/cimento inicial pretendido de “0,5”; apresentava pouca trabalhabilidade ainda, o que produziria um concreto com pouco ou nenhum abatimento, usando linguagem popular: “o concreto ainda estava seco”, assim, foi necessário aumentar a relação água/cimento, na primeira série de betonadas (B1, B2, B3, B4, B5 e B6) de cada traço e porcentagem de vidro, as quais serviram de guia, até se chegar a relação água/cimento de “0,525”, estabelecido para a segunda série de betonadas (B7, B8, B9, B10 e B11).

Assim para os traços utilizados no estudo, a relação água/cimento de “0,525” é possível atingir o abatimento desejado de $S=100\text{mm} \pm 20$. Porém, vale a pena dizer que o método do IBRACON de dosagem do concreto, recomenda uma relação água/cimento máximo de “0,5”, logo, foi necessário ultrapassar a recomendação do método.

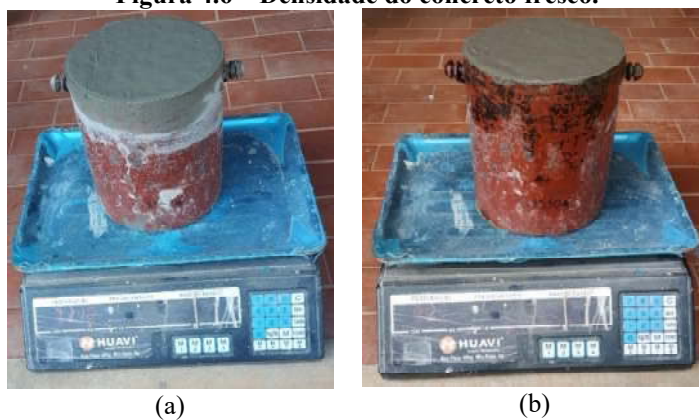
4.2.1.2. *Massa Específica do Concreto Fresco*

Em todas as betonadas, se utilizaram duas amostras para se obter a massa específica do concreto fresco, o ensaio é normatizado pela ABNT NBR 9833. O ensaio consiste, para o adensamento manual, em despejar o concreto do recipiente em três camadas e aplicar 25 golpes da haste metálica no mesmo, em cada camada.

A Figura 4.6 apresentam imagens de amostras do ensaio ao longo do estudo.

Já a Tabela 4.11 apresenta os resultados das amostras dos ensaios realizados em cada betonada.

Figura 4.6 – Densidade do concreto fresco.



Fonte: Própria (2021).

Tabela 4.11 – Massa específica do concreto fresco.

BETONADAS			RECIPIENTE		MASSA ESPECÍFICA		
% VIDRO	Nº	AMOSTRAS	Massa kg	Vol dm³	(g/cm³)		
					Individual	Parcial	Média
0	B1	A1	7,025	3,065	2,292	2,299	2,306
		A2	7,065	3,065	2,305		
	B2	A3	7,055	3,065	2,302	2,304	
		A4	7,070	3,065	2,307		
	B7	A5	7,085	3,065	2,312	2,315	
		A6	7,105	3,065	2,318		
5	B3	A7	7,110	3,065	2,320	2,323	2,326
		A8	7,130	3,065	2,326		
	B8	A9	7,125	3,065	2,325	2,329	
		A10	7,150	3,065	2,333		
10	B4	A11	7,166	3,065	2,338	2,340	2,337
		A12	7,180	3,065	2,343		
	B9	A13	7,145	3,065	2,331	2,333	
		A14	7,155	3,065	2,334		
15	B5	A15	7,130	3,065	2,326	2,331	2,333
		A16	7,160	3,065	2,336		
	B10	A17	7,150	3,065	2,333	2,334	
		A18	7,155	3,065	2,334		
20	B6	A19	7,135	3,065	2,328	2,331	2,330
		A20	7,155	3,065	2,334		
	B11	A21	7,130	3,065	2,326	2,329	
		A22	7,145	3,065	2,331		

Fonte: Própria (2021).

Verificando os resultados é visível um pequeno aumento na massa específica do concreto fresco com a substituição parcial da areia por vidro moído, isso ocorre, pois o vidro moído escolhido, possui grãos maiores que os da areia do rio Acre, logo, a areia do rio Acre, mais fina, preenche os vazios do vidro moído, mais grosso.

4.2.1.3. Consumo do Cimento

Com os dados dos ensaios do concreto fresco e dos traços dos concretos é possível calcular o consumo de cimento por metro cúbico.

Através da Equação 4 é possível elaborar a Tabela 4.12 apresentando o consumo de cimento por betonada.

$$C = \frac{\gamma}{1 + a + p + a/c}$$

Equação 4

Tabela 4.12 – Consumo de cimento por betonada.

Betonandas		Vidro	Massa Específica	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Relação água cimento	Consumo
Série	Nº	%	γ (kg/m³)	a (kg/kg)	p (kg/kg)	a/c (kg/kg)	C (kg/m³)
1ª	B1	0%	2298,532	1,35	2,65	0,55	414,150
	B2	0%	2304,241	1,35	2,65	0,575	413,317
	B3	5%	2323,002	1,35	2,65	0,525	420,453
	B4	10%	2340,212	1,35	2,65	0,5175	424,144
	B5	15%	2331,158	1,35	2,65	0,53	421,548
	B6	20%	2331,158	1,35	2,65	0,5125	422,886
2ª	B7	0%	2314,845	1,35	2,65	0,525	418,976
	B8	5%	2328,711	1,35	2,65	0,525	421,486
	B9	10%	2332,790	1,35	2,65	0,525	422,224
	B10	15%	2333,605	1,35	2,65	0,525	422,372
	B11	20%	2328,710	1,35	2,65	0,525	421,486

Fonte: Própria (2021).

Analisando a tabela é possível verificar que o consumo de cimento se apresentou menor nas betonadas sem vidro moído no traço, porém, também se vê que a relação água/cimento maior reduz o consumo, o que indica, obviamente, a relação inversamente proporcional entre a relação água/cimento e consumo. Esse maior consumo na betonadas com vidro é pequeno em relação as betonadas sem vidro, entre as betonadas com vidro os consumos são praticamente os mesmos. A primeira série de betonadas possui relações água cimentos variadas, o que causa mais heterogeneidade nos consumos. Já a segunda série de betonadas onde a relação água/cimento é padronizada, os consumos tornam-se próximos. Com os resultados é possível levantar várias teorias, como, nas betonadas sem vidro moído, em virtude de os grãos de areia possuírem a mesma medida, acaba por existir mais ar incorporado a mistura o que pode reduzir o consumo de cimento, em relação as betonadas com vidro.

4.2.2. Concreto Endurecido

4.2.2.1. Absorção de água, Índice de vazios e Densidade

A norma ABNT NBR 9778, estabelece os critérios para determinação das propriedades das argamassas e concretos endurecidos, sendo elas:

- Absorção de água por imersão (A)
- Índice de vazios (I_v)
- Massa específica da amostra seca (ρ_s)
- Massa específica da amostra saturada (ρ_{sat})
- Massa específica real (ρ_r)

Pra se calcular as propriedades são necessários medir as grandezas:

- Massa da amostra seca (m_s)
- Massa da amostra imersa (m_i)
- Massa da amostra saturada (m_{sat})

As massas devem ser determinadas conforme descrito no Quadro 4.1, que apresenta como as massas devem ser definidas conforme a norma em questão.

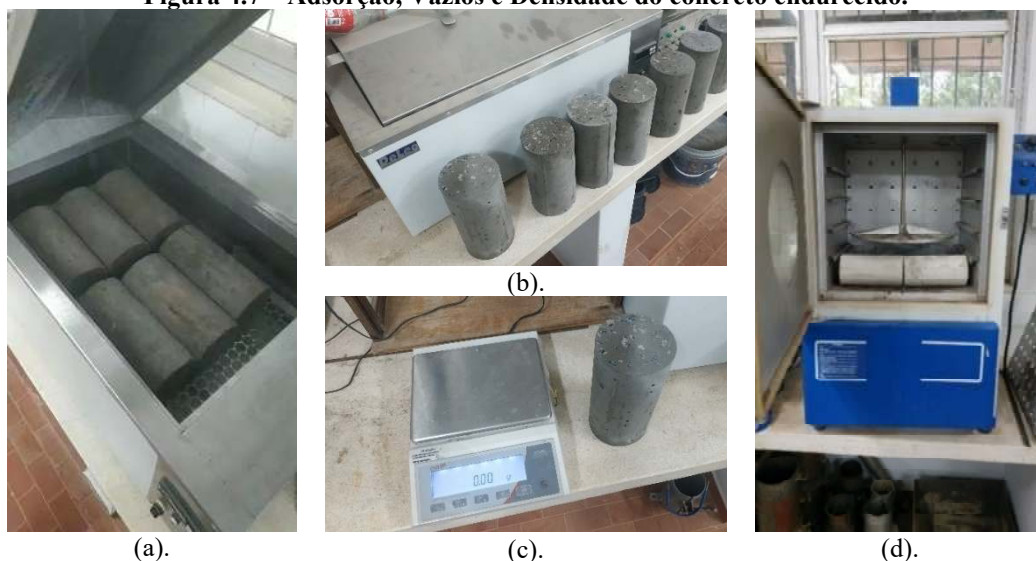
Quadro 4.1 – Determinação das massas seca, imersa e saturada.

Massa da amostra seca (m_s)	Colocar a amostra na estufa e mantê-la à temperatura de $(105 \pm 5^\circ\text{C})$ por um período de 72 h. Determinar e registrar a massa da amostra (m_s).
Massa da amostra imersa (m_i)	Imergir a amostra em água à temperatura de $(23 \pm 2^\circ\text{C})$ e mantê-la durante 72 h nessa condição. Completada a etapa de saturação em água à temperatura de $(23 \pm 2^\circ\text{C})$, colocar a amostra em um recipiente cheio de água, que deve ser progressivamente levada à ebulição, a qual deve começar depois de 15 min e antes de 30 min. A ebulição deve ser mantida por um período de 5 h, mantendo aproximadamente constante o volume da água. A seguir, deixar a água esfriar naturalmente até a temperatura de $(23 \pm 2^\circ\text{C})$. Determinar e registrar a massa com auxílio de balança hidrostática (m_i).
Massa da amostra saturada (m_{sat})	Retirar a amostra da água e enxugá-la com pano úmido. Determinar e registrar sua massa (m_{sat}).

Fonte: Adaptado de NBR 9778 (2009).

A Figura 4.7 apresenta, na parte (a) da imagem se vê os corpos de prova em banho térmico, em sua parte (b), os corpos de prova separados para pesagem, já na parte (c) a balança de pesagem com precisão de 0,01g, por fim, na parte (d) os corpos de prova em na estufa para secagem.

Figura 4.7 – Adsorção, Vazios e Densidade do concreto endurecido.



Fonte: Própria (2021).

Todos os corpos de prova já possuíam 28 dias de cura e foram moldados em formas metálicas de 20cm de altura por 10cm de diâmetro. Foram utilizados 4 CPs de cada betonadas, os mesmos foram curados imersos em tanques com água do abastecimento público.

A) Absorção de água

Com as massas determinadas após os procedimentos de ensaio, a absorção d'água é expressa em porcentagem, pela Equação 20. Já a Tabela 4.13 apresenta os resultados de todos os corpos de prova utilizados para o ensaio de absorção.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 20}$$

Tabela 4.13 – Absorção d'água do concreto endurecido.

BETONADA		DATAS			CP's	MASSA DA AMOSTRA (G)		ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)		
% vidro	Nº	28 dias	72h estufa	72h imersa		seca m _s	saturada m _{sat}	Individual	Parcial	Média
0	B1	12/05	15/05	18/05	117	3334,6	3631,2	8,893	8,740	8,705
					118	3349,3	3626,3	8,270		
					119	3355,0	3647,1	8,706		
					120	3312,8	3614,0	9,092		
	B2	20/05	23/05	26/05	217	3303,3	3608,7	9,246	8,792	
					218	3320,5	3617,0	8,930		
					219	3335,9	3614,9	8,365		
					220	3325,46	3612,36	8,627		
	B7	22/06	25/06	28/06	717	3326,15	3609,44	8,517	8,583	
					718	3331,28	3612,53	8,443		
					719	3297,21	3591,84	8,935		
					720	3316,85	3596,71	8,438		
5	B3	27/05	30/05	02/06	317	3368,34	3649,77	8,355	8,357	8,344
					318	3369,63	3640,17	8,029		
					319	3366,84	3657,7	8,639		
					320	3369,04	3652,21	8,405		
	B8	24/06	27/06	30/06	817	3366,31	3642,68	8,210	8,330	
					818	3368,81	3656,12	8,528		
					819	3367,19	3648,44	8,353		
					820	3371,83	3649,34	8,230		
10	B4	01/06	04/06	07/06	417	3405,5	3673,9	7,881	7,788	7,793
					418	3413,92	3679,84	7,789		
					419	3421,96	3684,92	7,684		
					420	3414,05	3680,18	7,795		
	B9	29/06	02/07	05/07	917	3423,1	3688,32	7,748	7,798	
					918	3417,09	3685,99	7,869		
					919	3428,86	3692,15	7,679		
					920	3411,37	3680,66	7,894		
15	B5	10/06	13/06	16/06	517	3343,41	3619,83	8,268	8,295	8,237
					518	3332,63	3609,37	8,304		
					519	3299,03	3559,96	7,909		
					520	3364,67	3657,31	8,697		
	B10	01/07	04/07	07/07	1017	3317,37	3583,74	8,030	8,178	
					1018	3360,35	3650,2	8,626		
					1019	3338,94	3616,67	8,318		
					1020	3295,14	3550,18	7,740		

Tabela 4.13 – Absorção d'água do concreto endurecido.

BETONADA		DATAS			MASSA DA AMOSTRA (G)			ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)						
% vidro	Nº	28 dias	72h estufa	72h imersa	CP's	seca m _s	saturada m _{sat}	Individual	Parcial	Média				
20	B6	15/06	18/06	21/06	617	3377,57	3652,57	8,142	7,955	7,988				
					618	3383,6	3657,06	8,082						
					619	3412,37	3677,58	7,772						
					620	3407,53	3674,08	7,822						
	B11	06/07	09/07	12/07	1117	3420,31	3685,7	7,759	8,020					
					1118	3394,92	3670,15	8,107						
					1119	3382,23	3662,37	8,283						
					1120	3407,62	3677,92	7,932						

Fonte: Própria (2021).

A Tabela 4.14 apresenta o resumo dos resultados da absorção d'água do concreto endurecido.

Tabela 4.14 – Absorção d'água do concreto endurecido - resumo.

% VIDRO		0			5		10		15		20	
BETONADA		B1	B2	B7	B3	B8	B4	B9	B5	B10	B6	B11
ABSORÇÃO D'ÁGUA (%)	PARCIAL	8,74	8,79	8,58	8,36	8,33	7,79	7,80	8,30	8,18	7,96	8,02
	MÉDIA	8,71			8,34		7,79		8,24		7,99	

Fonte: Própria (2021).

É possível identificar uma redução da absorção entre o concreto convencional sem adições de vidro moídos e os concretos com vidro moído (areia do rio Acre), porém, tal redução na absorção é pequena, girando em torno de 1% de diferença, o que se conclui é que os concretos com vidro possuem uma tendência de absorver menos água se comparado com o concreto convencional sem vidro moído do estudo.

B) Índice de vazios

Com as massas determinadas após os procedimentos de ensaio, o índice de vazios é expresso em porcentagem, assim como na absorção, pela Equação 21. A Tabela 4.15 apresenta os resultados de todos os corpos de prova utilizados para o ensaio do índice de vazios. A Tabela 4.16 apresenta o resumo dos resultados do índice de vazios do concreto endurecido.

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

Equação 21

Tabela 4.15 – Índice de vazios do concreto endurecido.

BETONADA		DATAS			CP's	MASSA DA AMOSTRA (G)			ÍNDICE DE VAZIOS (%)		
% vidro	Nº	28 dias	72h estufa	72h imersa		seca	imersa	saturada	Individual	Parcial	Média
						m _s	m _i	m _{sat}			
0	B1	12/05	15/05	18/05	117	3334,6	2076,7	3631,2	19,077	18,798	18,702
					118	3349,3	2082,2	3626,3	17,938		
					119	3355,0	2085,2	3647,1	18,701		
					120	3312,8	2067,5	3614,0	19,476		
	B2	20/05	23/05	26/05	217	3303,3	2058,1	3608,7	19,698	18,867	
					218	3320,5	2065,2	3617,0	19,107		
					219	3335,9	2070,4	3614,9	18,067		
					220	3325,46	2069,47	3612,36	18,595		
	B7	22/06	25/06	28/06	717	3326,15	2059,63	3609,44	18,279	18,441	
					718	3331,28	2066,4	3612,53	18,190		
					719	3297,21	2051,72	3591,84	19,130		
					720	3316,85	2055,87	3596,71	18,163		
5	B3	27/05	30/05	02/06	317	3368,34	2089,9	3649,77	18,042	18,041	18,019
					318	3369,63	2084,79	3640,17	17,394		
					319	3366,84	2094,05	3657,7	18,601		
					320	3369,04	2090,21	3652,21	18,129		
	B8	24/06	27/06	30/06	817	3366,31	2087,6	3642,68	17,772	17,996	
					818	3368,81	2091,84	3656,12	18,367		
					819	3367,19	2088,32	3648,44	18,028		
					820	3371,83	2091,92	3649,34	17,819		
10	B4	01/06	04/06	07/06	417	3405,5	2118,43	3673,9	17,255	17,054	17,077
					418	3413,92	2121,59	3679,84	17,065		
					419	3421,96	2122,29	3684,92	16,828		
					420	3414,05	2120,84	3680,18	17,067		
	B9	29/06	02/07	05/07	917	3423,1	2128,44	3688,32	17,003	17,100	
					918	3417,09	2124,27	3685,99	17,218		
					919	3428,86	2132,72	3692,15	16,884		
					920	3411,37	2123,6	3680,66	17,295		
15	B5	10/06	13/06	16/06	517	3343,41	2081,84	3619,83	17,973	17,982	17,860
					518	3332,63	2070,86	3609,37	17,988		
					519	3299,03	2040,88	3559,96	17,177		
					520	3364,67	2099,78	3657,31	18,789		
	B10	01/07	04/07	07/07	1017	3317,37	2055,83	3583,74	17,434	17,737	
					1018	3360,35	2095,95	3650,2	18,649		
					1019	3338,94	2075,6	3616,67	18,022		
					1020	3295,14	2035,84	3550,18	16,842		
20	B6	15/06	18/06	21/06	617	3377,57	2067,49	3652,57	17,349	17,157	17,239
					618	3383,6	2075,51	3657,06	17,291		
					619	3412,37	2114,85	3677,58	16,971		
					620	3407,53	2107,7	3674,08	17,017		
	B11	06/07	09/07	12/07	1117	3420,31	2120,41	3685,7	16,954	17,320	
					1118	3394,92	2088,89	3670,15	17,405		
					1119	3382,23	2073,13	3662,37	17,627		
					1120	3407,62	2114,65	3677,92	17,291		

Fonte: Própria (2021).

Tabela 4.16 – Índice de vazios do concreto endurecido - resumo.

% VIDRO		0			5		10		15		20	
BETONADA		B1	B2	B7	B3	B8	B4	B9	B5	B10	B6	B11
ÍND. DE VAZIOS (%)	PARC.	18,90	18,87	18,44	18,04	18,00	17,05	17,10	17,98	17,74	17,16	17,32
	MÉD.	18,70			18,02		17,08		17,86		17,24	

Fonte: Própria (2021).

É possível identificar uma redução do índice de vazios, assim como na absorção, entre o concreto convencional sem adições de vidro moídos e os concretos com vidro moído (areia

do rio Acre), porém, assim como na absorção, tal redução é pequena, não superando 2% de diferença, o que se conclui é que os concretos com vidro têm a tendência a reduzir os vazios se comparado com o concreto convencional, sem vidro moído do estudo.

Porém, tal melhora é previsível, visto o enquadramento do agregado miúdo composto com a mistura da área do rio Acre e o vidro moído, na zona utilizável do ensaio de granulometria, devido a seleção granulométrica escolhida entre o vidro moído (mais grosso, >0,6mm e <1,18mm), que, a areia do rio Acre (mais fina, <0,3mm), fazendo com que o agregado mais fino preencha os vazios do agregado mais grosso.

Logo, é correto afirmar que a utilização de vidro moído para melhorar a granulometria da areia do rio Acre tende a reduzir o índice de vazios do concreto endurecido.

C) Densidade do concreto endurecido

Com as massas determinadas após os procedimentos de ensaio, é possível determinar três densidades, conforme descrito na Tabela 4.17, as mesmas são expressas em gramas por centímetros cúbicos.

Tabela 4.17 – Densidades do concreto endurecido.			
DESCRIÇÃO	EQUAÇÃO	UNIDADE	NUMERAÇÃO
Densidade da amostra seca	$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i}$	g/cm ³	Equação 22
Densidade da amostra saturada	$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i}$	g/cm ³	Equação 23
Densidade real	$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i}$	g/cm ³	Equação 24

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 9778 (2009).

A Tabela 4.18 apresenta os resultados de todos os corpos de prova utilizados para os ensaios das massas específicas.

Tabela 4.18 – Densidade do concreto endurecido.

BETONADA			DENSIDADE (g/cm³)								
% VIDRO	Nº	CP's	Individual			Parcial			Média		
			seca	saturada	real	seca	saturada	real	seca	saturada	real
			P _s	P _{sat}	P _r	P _s	P _{sat}	P _r	P _s	P _{sat}	P _r
0	B1	117	2,145	2,336	2,651	2,151	2,339	2,649	2,149	2,336	2,643
		118	2,169	2,348	2,643						
		119	2,148	2,335	2,642						
		120	2,142	2,337	2,660						
	B2	217	2,130	2,327	2,653	2,146	2,335	2,645			
		218	2,140	2,331	2,645						
		219	2,160	2,341	2,636						
		220	2,155	2,341	2,648						
	B7	717	2,146	2,329	2,626	2,149	2,333	2,634			
		718	2,155	2,336	2,634						
		719	2,141	2,332	2,647						
		720	2,153	2,334	2,630						
5	B3	317	2,159	2,340	2,635	2,159	2,339	2,634			
		318	2,166	2,340	2,623						
		319	2,153	2,339	2,645						
		320	2,157	2,338	2,634						
	B8	817	2,165	2,342	2,633	2,160	2,340	2,635			
		818	2,154	2,337	2,638						
		819	2,158	2,339	2,633						
		820	2,165	2,343	2,634						
10	B4	417	2,189	2,362	2,646	2,190	2,360	2,640			
		418	2,191	2,362	2,642						
		419	2,190	2,358	2,633						
		420	2,189	2,360	2,640						
	B9	917	2,194	2,364	2,644	2,193	2,364	2,645			
		918	2,188	2,360	2,643						
		919	2,199	2,368	2,645						
		920	2,191	2,364	2,649						
15	B5	517	2,174	2,354	2,650	2,168	2,348	2,643			
		518	2,166	2,346	2,641						
		519	2,172	2,343	2,622						
		520	2,160	2,348	2,660						
	B10	1017	2,171	2,346	2,630	2,169	2,346	2,637			
		1018	2,162	2,349	2,658						
		1019	2,167	2,347	2,643						
		1020	2,176	2,344	2,617						
20	B6	617	2,131	2,304	2,578	2,157	2,329	2,604			
		618	2,139	2,312	2,587						
		619	2,184	2,353	2,630						
		620	2,175	2,346	2,622						
	B11	1117	2,185	2,355	2,631	2,160	2,333	2,612			
		1118	2,147	2,321	2,599						
		1119	2,128	2,304	2,584						
		1120	2,180	2,353	2,636						

Fonte: Própria (2021).

A Tabela 4.19 apresenta o resumo dos resultados das densidades do concreto endurecido.

Tabela 4.19 – Densidade do concreto endurecido - resumo.

BETONADA		DENSIDADE (g/cm ³)					
% VIDRO	Nº	seca P _s	Parcial saturada P _{sat}	real P _r	seca P _s	Média saturada P _{sat}	real P _r
0	B1	2,151	2,339	2,649	2,149	2,336	2,643
	B2	2,146	2,335	2,645			
	B7	2,149	2,333	2,634			
5	B3	2,159	2,339	2,634	2,160	2,340	2,635
	B8	2,160	2,340	2,635			
10	B4	2,190	2,360	2,640	2,192	2,362	2,643
	B9	2,193	2,364	2,645			
15	B5	2,168	2,348	2,643	2,169	2,347	2,640
	B10	2,169	2,346	2,637			
20	B6	2,157	2,329	2,604	2,159	2,331	2,608
	B11	2,160	2,333	2,612			

Fonte: Própria (2021).

Não se verificou grandes mudanças na densidade do concreto endurecido, se comparando o concreto sem substituição parcial da areia do rio Acre por vidro moído, apesar do concreto com 20% de vidro em sua composição, apresentar um resultado menor que os demais.

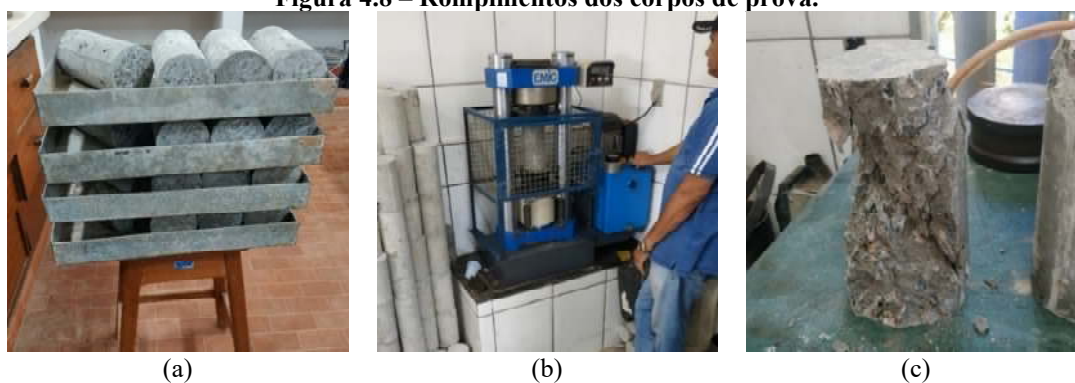
4.2.2.2. Resistência à compressão

A norma utilizada para os ensaios de rompimento é ABNT NBR 5739. O rompimento de corpos de prova se deu em duas datas, após as betonadas, aos 7 dias de concretagem e aos 28 dias de concretagem.

A Figura 4.8 apresenta imagens do processo de rompimento, parte (a) os corpos de prova em bandejas metálicas para serem transportados do Laboratório de Materiais de Construção da UFAC, até o Laboratório de Argamassas e Concretos da FUNTAC; na parte (b) o rompimento dos corpos de prova, em máquina servo controlada digital; já na parte (c) um exemplo de corpo de prova rompido. Os corpos de prova após atingirem as datas de rompimentos, foram retirados dos tanques de cura, retificados, medidos e levados para rompimento.

Segundo a ABNT NBR 5739, “Os corpos de prova e testemunhos a serem ensaiados devem atender à relação altura/diâmetro (h/d) nunca maior do que 2,06. Caso esta relação seja menor que 1,94”; devem ser efetuadas correções descritas na norma. Ainda conforme a norma citada, o diâmetro, dos corpos de prova devem se determinados pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo de prova. Nenhum corpo de prova do estudo transpôs os limites estabelecidos pela norma de 2,06 e 1,94; logo, não foram aplicados fatores de correções nos resultados da resistência a compressão obtidos.

Figura 4.8 – Rompimentos dos corpos de prova.



Fonte: Própria (2021).

A grande diferença entre as primeiras séries de betonadas e a segunda, está na prática e experiência adquirida, a primeira série serviu como de experimentação para a segunda série de betonadas, por isso a primeira série possui a relação água/cimento, variado, enquanto da segunda série de betonadas esta relação foi fixada.

Em conversas informais com os profissionais técnicos da FUNTAC, para a dosagem de concreto convencionais, recomenda-se uma relação água/cimento próxima a “ $a/c=0,5$ ”, porém, tal ideal não foi possível, visto o concreto apresentar-se, visualmente, pouco trabalhável na betoneira, logo, este é o motivo da primeira série de betonadas, apresentar relações água/cimento variados, na primeira série se buscava uma relação ideal, assim, utilizou-se a primeira série de betonadas para experimentação da relação água/cimento, chegou-se na relação de “ $a/c=0,525$ ”, utilizado na segunda série de betonadas.

Vale a pena recordar que o concreto pretendido é o C25 S100, concreto normal com resistência a compressão de 25 MPa e abatimento de 100 ± 20 mm. As betonadas serão apresentadas não pela ordem de execução mais sem pela porcentagem de vidro em sua composição, na ordem crescente.

A) Betonadas sem adição de vidro moído B1, B2 e B7 (concreto 0%)

As Tabela 4.20, Tabela 4.21 e Tabela 4.22, apresenta os dados obtidos com os ensaios de compressão dos corpos de prova das betonada: B1, B2 (1ª série) e B7 (2ª série), respectivamente, que não possui vidro em sua composição, as tabelas também apresentam: os dados dimensionais dos corpos de prova, o traço utilizado para a betonada, além dos dados dos outros ensaios de massa específica, abatimento, absorção e índice de vazios.

Tabela 4.20 – Dados 1ª Betonada (B1) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

1ª BETONADA - B1 0% VIDRO				DIAS	CP's	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	101	19	9,3	9,3	9,3	2,04	162,7	23,951
					102	19	9,3	9,3	9,3	2,04	164,7	24,246
					103	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	164,7	23,987
					104	19	9,3	9,3	9,3	2,04	168,6	24,820
					105	18,9	9,3	9,2	9,25	2,04	162,7	24,211
					106	19	9,4	9,3	9,35	2,03	164,7	23,987
					107	19	9,4	9,3	9,35	2,03	176,5	25,706
					108	19	9,4	9,3	9,35	2,03	166,7	24,279
Dados do concreto				28	109	19	9,3	9,3	9,3	2,04	194,1	28,574
Abatimento (mm)			110		19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	176,5	25,983	
fck médio 7dias (MPa)			111		18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	174,5	25,689	
fck médio 28dias (MPa)			112		19	9,3	9,3	9,3	2,04	182,4	26,852	
pap	2,299	g/cm³	A (%)		113	19	9,3	9,3	9,3	2,04	186,3	27,426
ps	2,151	g/cm³	8,74		114	19	9,4	9,3	9,35	2,03	176,5	25,706
psat	2,339	g/cm³	Iv (%)		115	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	141,2	20,786
or	2,649	g/cm³	18,80		116	19	9,4	9,3	9,35	2,03	186,3	27,133

Fonte: Própria (2021).

A primeira betonada (B1) não possui vidro moído em sua composição e faz parte da primeira série de betonadas, esta tem por finalidade de nortear a próximas betonadas, utilizou-se $a/c = 0,55$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 100\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\rho_{\text{pap}} = 2,299 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $f_{\text{ck}_{\text{med}7}} = 24,398 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $f_{\text{ck}_{\text{med}28}} = 26,018 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar que a betonada B1 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, dentro dos limites aceitáveis.

A segunda betonada (B2) não possui vidro moído em sua composição e faz parte da primeira série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,575$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 120\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\rho_{\text{pap}} = 2,304 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $f_{\text{ck}_{\text{med}7}} = 23,435 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $f_{\text{ck}_{\text{med}28}} = 25,767 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B2 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, dentro dos limites aceitáveis.

Tabela 4.21 – Dados 2ª Betonada (B2) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

2ª BETONADA - B2 0% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	201	19	9,4	9,3	9,35	2,03	160,9	23,434
					202	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	160,9	23,434
					203	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	160,9	23,686
					204	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	158,7	23,113
					205	19	9,45	9,35	9,4	2,02	162,9	23,473
					206	19,2	9,4	9,2	9,3	2,06	167,1	24,599
					207	19	9,3	9,4	9,35	2,03	156,6	22,808
					208	18,9	9,4	9,25	9,325	2,03	156,6	22,930
Dados do concreto				28	209	18,85	9,3	9,3	9,3	2,03	175,1	25,777
Abatimento (mm)			120		210	18,85	9,3	9,3	9,3	2,03	175,8	25,880
fck médio 7 dias (MPa)			23,435		211	18,85	9,3	9,3	9,3	2,03	182,1	26,807
fck médio 28 dias (MPa)			25,767		212	19,1	9,3	9,4	9,35	2,04	179,8	26,186
pap	2,304	g/cm³	A (%)		213	19	9,3	9,3	9,3	2,04	175,6	25,850
ps	2,146	g/cm³	8,79		214	19	9,3	9,4	9,35	2,03	180,7	26,318
psat	2,335	g/cm³	Iv (%)		215	18,9	9,3	9,4	9,35	2,02	179,1	26,084
or	2,645	g/cm³	18,87		216	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	157,8	23,230

Fonte: Própria (2021).

A sétima betonada (B7) não possui vidro moído em sua composição e faz parte da segunda série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,525$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 90\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\text{pap} = 2,315 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $\text{fck}_{\text{med}7} = 24,717 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $\text{fck}_{\text{med}28} = 27,456 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B7 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, dentro dos limites aceitáveis.

Tabela 4.22 – Dados 7ª Betonada (B7) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

7ª BETONADA - B7 0% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	701	19	9,4	9,3	9,35	2,03	169,1	24,628
					702	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	169,2	24,643
					703	19	9,3	9,3	9,3	2,04	169,1	24,894
					704	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	167	24,322
					705	19	9,4	9,3	9,35	2,03	171,1	24,919
					706	19,1	9,4	9,2	9,3	2,05	175,3	25,806
					707	19	9,4	9,3	9,35	2,03	165,6	24,118
					708	18,9	9,4	9,2	9,3	2,03	165,8	24,408
Dados do concreto				28	709	19	9,4	9,3	9,35	2,03	185,1	26,958
Abatimento (mm)			90		710	19	9,3	9,3	9,3	2,04	185,3	27,278
fck médio 7 dias (MPa)			24,717		711	19	9,3	9,3	9,3	2,04	191,1	28,132
fck médio 28 dias (MPa)			27,456		712	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	189,8	27,643
pap	2,315	g/cm³	A (%)		713	19	9,3	9,3	9,3	2,04	185,4	27,293
ps	2,149	g/cm³	8,58		714	19	9,4	9,3	9,35	2,03	190,2	27,701
psat	2,333	g/cm³	Iv (%)		715	19,05	9,4	9,3	9,35	2,04	189,1	27,541
pr	2,634	g/cm³	18,44		716	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	184,1	27,102

Fonte: Própria (2021).

B) Betonadas com 5% de substituição da areia por vidro moído B3 e B8.

As Tabela 4.23 e Tabela 4.24, apresenta os dados obtidos com os ensaios de compressão dos corpos de prova das betonada: B3 (1ª série) e B8 (2ª série), respectivamente, que possuem 5% de vidro moído em substituição a areia, as tabelas também apresentam: os dados dimensionais dos corpos de prova, o traço utilizado para a betonada, além dos dados dos outros ensaios de massa específica, abatimento, absorção e índice de vazios.

Tabela 4.23 – Dados 3ª Betonada (B3) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

3ª BETONADA - B3 5% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA	TENSÃO
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}		(kN)	fck (MPa)
Material	Sigla	Unitário	Massa (kg)	7	301	19	9,4	9,3	9,35	2,03	141,2	20,565
					302	19	9,4	9,2	9,3	2,04	186,3	27,426
303	19	9,6	9,2		9,4	2,02	170,6	24,583				
304	19,1	9,3	9,3		9,3	2,05	184,3	27,131				
305	19,1	9,4	9,3		9,35	2,04	168,6	24,555				
306	19,1	9,3	9,3		9,3	2,05	184,3	27,131				
307	19,1	9,3	9,2		9,25	2,06	182,4	27,143				
308	18,9	9,3	9,3		9,3	2,03	176,5	25,983				
Dados do concreto				28	309	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	198,2	28,866
Abatimento (mm)			90		310	19	9,3	9,2	9,25	2,05	196,1	29,181
fck médio 7 dias (MPa)			25,565		311	19	9,4	9,3	9,35	2,03	200,8	29,245
fck médio 28 dias (MPa)			28,888		312	19	9,4	9,2	9,3	2,04	195,5	28,780
pap	2,323	g/cm³	A (%)		313	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	184,5	27,161
ps	2,159	g/cm³	8,36		314	19,15	9,4	9,3	9,35	2,05	205,5	29,929
psat	2,339	g/cm³	Iv (%)		315	19	9,3	9,3	9,3	2,04	195,7	28,809
pr	2,634	g/cm³	18,04		316	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	197,9	29,133

Fonte: Própria (2021).

A terceira betonada (B3) possui 5% vidro moído em substituição a areia, faz parte da primeira série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,525$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 90\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\rho_{ap} = 2,323\text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $f_{ck_{med7}} = 25,565\text{ MPa}$ para os 7 dias e de $f_{ck_{med28}} = 28,888\text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B3 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

Tabela 4.24 – Dados 8ª Betonada (B8) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

8ª BETONADA - B8 5% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	801	19	9,3	9,3	9,3	2,04	180,2	26,528
					802	19,1	9,35	9,25	9,3	2,05	190,1	27,985
					803	19	9,3	9,3	9,3	2,04	183,5	27,013
					804	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	188,4	27,735
					805	19,1	9,35	9,2	9,275	2,06	172,6	25,546
					806	19	9,3	9,3	9,3	2,04	188	27,676
					807	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	186,6	27,177
					808	19	9,35	9,3	9,325	2,04	180	26,356
Dados do concreto				28	809	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	200,3	29,172
Abatimento (mm)			90		810	19	9,3	9,2	9,25	2,05	197,2	29,345
fck médio 7 dias (MPa)			27,002		811	19	9,4	9,3	9,35	2,03	196,3	28,590
fck médio 28 dias (MPa)			29,265		812	19	9,4	9,25	9,325	2,04	201,9	29,563
pap	2,329	g/cm³	A (%)		813	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	197,6	29,089
ps	2,160	g/cm³	8,33		814	19,15	9,4	9,3	9,35	2,05	206,2	30,031
psat	2,340	g/cm³	Iv (%)		815	19	9,3	9,35	9,325	2,04	203,0	29,724
or	2,635	g/cm³	18,00		816	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	194,3	28,603

Fonte: Própria (2021).

A oitava betonada (B8) possui 5% vidro moído em substituição a areia, faz parte da segunda série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,525$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 90\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\rho_{\text{pap}} = 2,329 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $f_{\text{ck}_{\text{med}7}} = 27,002 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $f_{\text{ck}_{\text{med}28}} = 29,265 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B8 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

C) Betonadas com 10% de substituição da areia por vidro moído B4 e B9.

As Tabela 4.25 e Tabela 4.26, apresenta os dados obtidos com os ensaios de compressão dos corpos de prova das betonadas: B4 (1ª série) e B9 (2ª série), respectivamente, que possuem 10% de vidro moído em substituição a areia, as tabelas também apresentam: os dados dimensionais dos corpos de prova, o traço utilizado para a betonada, além dos dados dos outros ensaios de massa específica, abatimento, absorção e índice de vazios.

A quarta betonada (B4) possui 10% vidro moído em substituição a areia, faz parte da primeira série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,5175$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 80\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\rho_{\text{pap}} = 2,340 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $f_{\text{ck}_{\text{med}7}} = 26,845 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $f_{\text{ck}_{\text{med}28}} = 31,584 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B4 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

Tabela 4.25 – Dados 4ª Betonada (B4) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

4ª BETONADA - B4 10% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA TENSÃO	
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}		(kN)	fck (MPa)
Material	Sigla	Unitário	Massa	7	401	18,8	9,3	9,3	9,3	2,02	182,4	26,852
		(kg)	(kg)		402	18,9	9,3	9,2	9,25	2,04	184,3	27,425
Cimento	c	1	20		403	19	9,3	9,3	9,3	2,04	188,2	27,705
					404	19	9,3	9,2	9,25	2,05	176,5	26,265
Areia	a	1,215	24,3		405	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	166,7	24,806
Vidro	v	0,135	2,7		406	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	194,1	28,884
Brita	b	2,65	53		407	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	152,9	22,509
Água	a/c	0,5175	10,35		408	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	205,9	30,311
Dados do concreto				28	409	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	198,0	29,148
Abatimento (mm)			80		410	19,3	9,25	9,25	9,25	2,09	214,0	31,845
fck médio 7 dias (MPa)			26,845		411	19,1	9,35	9,3	9,325	2,05	199,7	29,241
fck médio 28 dias (MPa)			31,584		412	19,3	9,3	9,3	9,3	2,08	221,8	32,652
pap	2,340	g/cm³	A (%)		413	19	9,3	9,25	9,275	2,05	211,5	31,303
ps	2,190	g/cm³	7,79		414	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	230,1	33,874
psat	2,360	g/cm³	Iv (%)		415	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	214,1	31,518
or	2,640	g/cm³	17,05		416	19,15	9,3	9,3	9,3	2,06	224,8	33,093

Fonte: Própria (2021).

A nona betonada (B9) possui 10% vidro moído em substituição a areia, faz parte da segunda série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,525$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 90\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\text{pap} = 2,333 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $\text{fck}_{\text{med}7} = 27,467 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $\text{fck}_{\text{med}28} = 31,365 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B9 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

Tabela 4.26 – Dados 9ª Betonada (B9) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

9ª BETONADA – B9 10% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	901	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	184,1	26,813
					902	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	188,4	27,735
903	19	9,3	9,3		9,3	2,04	185,8	27,352				
904	19,1	9,3	9,2		9,25	2,06	180,6	26,875				
905	19	9,3	9,3		9,3	2,04	181,7	26,748				
906	19,1	9,4	9,3		9,35	2,04	188,4	27,439				
907	19	9,3	9,3		9,3	2,04	194,4	28,618				
908	19	9,4	9,3		9,35	2,03	193,3	28,153				
Dados do concreto				28	909	19	9,3	9,25	9,275	2,04	208,8	30,904
Abatimento (mm)			90		910	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	214,7	31,606
fck médio 7 dias (MPa)			27,467		911	19,1	9,3	9,2	9,25	2,04	209,7	31,205
fck médio 28 dias (MPa)			31,365		912	19	9,4	9,3	9,35	2,03	210,2	30,614
pap	2,333	g/cm³	A (%)		913	19	9,3	9,2	9,25	2,05	220,5	32,812
ps	2,193	g/cm³	7,80		914	19	9,3	9,3	9,3	2,04	208,1	30,635
psat	2,364	g/cm³	Iv (%)		915	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	222,4	32,391
pr	2,645	g/cm³	17,10		916	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	208,9	30,753

Fonte: Própria (2021).

D) Betonadas com 15% de substituição da areia por vidro moído B5 e B10.

As Tabela 4.27 e Tabela 4.28, apresenta os dados obtidos com os ensaios de compressão dos corpos de prova das betonada: B5 (1ª série) e B10 (2ª série), respectivamente, que possuem 15% de vidro moído em substituição a areia, as tabelas também apresentam: os dados dimensionais dos corpos de prova, o traço utilizado para a betonada, além dos dados dos outros ensaios de massa específica, abatimento, absorção e índice de vazios.

Tabela 4.27 – Dados 5ª Betonada (B5) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

5ª BETONADA - B5 15% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA	TENSÃO
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}		(kN)	fck (MPa)
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	501	19	9,3	9,3	9,3	2,04	186,7	27,485
					502	19	9,3	9,3	9,3	2,04	182	26,793
					503	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	188,7	27,779
					504	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	184,1	27,396
					505	19	9,4	9,3	9,35	2,03	196,5	28,619
					506	19	9,3	9,3	9,3	2,04	183,8	27,058
					507	19	9,3	9,3	9,3	2,04	169,2	24,908
					508	19	9,4	9,3	9,35	2,03	184,8	26,915
Dados do concreto				28	509	18,9	9,4	9,25	9,325	2,03	171,4	25,097
Abatimento (mm)			100		510	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	214,7	31,269
fck médio 7 dias (MPa)			27,119		511	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	213,4	31,415
fck médio 28 dias (MPa)			31,017		512	19,15	9,4	9,3	9,35	2,05	202,6	29,507
pap	2,331	g/cm³	A (%)		513	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	211,0	30,730
ps	2,168	g/cm³	8,29		514	19	9,4	9,2	9,3	2,04	232,0	34,153
psat	2,348	g/cm³	Iv (%)		515	19	9,4	9,3	9,35	2,03	234,0	34,080
pr	2,643	g/cm³	17,98		516	19	9,3	9,3	9,3	2,04	216,6	31,886

Fonte: Própria (2021).

A quinta betonada (B5) possui 15% vidro moído em substituição a areia, faz parte da primeira série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,53$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 100\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\text{pap} = 2,331\text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $\text{fck}_{\text{med}7} = 27,119\text{ MPa}$ para os 7 dias e de $\text{fck}_{\text{med}28} = 31,017\text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B5 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

Tabela 4.28 – Dados 10ª Betonada (B10) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

10ª BETONADA - B10 15% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	1001	19	9,3	9,3	9,3	2,04	190,3	28,015
					1002	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	187,1	27,250
					1003	19	9,3	9,3	9,3	2,04	189,2	27,853
					1004	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	192,9	28,397
					1005	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	193,5	28,182
					1006	19	9,3	9,3	9,3	2,04	194,5	28,633
					1007	19	9,3	9,2	9,25	2,05	185,3	27,574
					1008	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	191,4	27,876
Dados do concreto				28	1009	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	222,8	32,449
Abatimento (mm)			90		1010	19	9,4	9,3	9,35	2,03	213,5	31,095
fck médio 7 dias (MPa)			27,972		1011	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	218,4	32,151
fck médio 28 dias (MPa)			32,567		1012	19	9,4	9,3	9,35	2,03	222,6	32,420
pap	2,334	g/cm³	A (%)		1013	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	219,1	31,910
ps	2,169	g/cm³			1014	19	9,4	9,2	9,3	2,04	231,9	34,139
psat	2,346	g/cm³	Iv (%)		1015	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	227,1	33,075
or	2,637	g/cm³			1016	19	9,3	9,3	9,3	2,04	226,2	33,299

Fonte: Própria (2021).

A décima betonada (B10) possui 15% vidro moído em substituição a areia, faz parte da segunda série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,525$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 90\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\rho_{\text{pap}} = 2,334 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $f_{\text{ck}_{\text{med}7}} = 27,972 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $f_{\text{ck}_{\text{med}28}} = 32,567 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B10 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

E) Betonadas com 20% de substituição da areia por vidro moído B6 e B11.

As Tabela 4.29 e Tabela 4.30, apresenta os dados obtidos com os ensaios de compressão dos corpos de prova das betonada: B6 (1ª série) e B11 (2ª série), respectivamente, que possuem 20% de vidro moído em substituição a areia, as tabelas também apresentam: os dados dimensionais dos corpos de prova, o traço utilizado para a betonada, além dos dados dos outros ensaios de massa específica, abatimento, absorção e índice de vazios.

A sexta betonada (B6) possui 20% vidro moído em substituição a areia, faz parte da primeira série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,5125$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 90\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\rho_{\text{pap}} = 2,331 \text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $f_{\text{ck}_{\text{med}7}} = 27,096 \text{ MPa}$ para os 7 dias e de $f_{\text{ck}_{\text{med}28}} = 33,513 \text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B6 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

Tabela 4.29 – Dados 6ª Betonada (B6) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

6ª BETONADA - B6 20% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	601	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	196,1	28,868
					602	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	180,7	26,890
					603	19	9,3	9,3	9,3	2,04	203,6	29,972
					604	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	165,9	24,423
					605	18,9	9,3	9,25	9,275	2,04	172,3	25,502
					606	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	177,4	26,115
					607	19	9,3	9,25	9,275	2,05	187,1	27,692
					608	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	185,5	27,308
Dados do concreto				28	609	18,9	9,2	9,2	9,2	2,05	226,9	34,133
Abatimento (mm)			90		610	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	202,5	29,493
fck médio 7 dias (MPa)			27,096		611	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	244,8	36,428
fck médio 28 dias (MPa)			33,513		612	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	225,3	33,167
pap	2,331	g/cm³	A (%)		613	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	240,4	35,390
ps	2,157	g/cm³	7,95		614	19,2	9,5	9,2	9,35	2,05	220,7	32,143
psat	2,329	g/cm³	Iv (%)		615	19	9,3	9,3	9,3	2,04	226,9	33,402
or	2,604	g/cm³	17,16		616	19,05	9,3	9,3	9,3	2,05	230,6	33,947

Fonte: Própria (2021).

A décima primeira betonada (B11) possui 20% vidro moído em substituição a areia, faz parte da segunda série de betonadas, utilizou-se a relação $a/c = 0,525$; todos os corpos de prova respeitaram a relação h/d , não ultrapassando 2,06 nem ficando inferior a 1,94; obteve-se um abatimento de $S = 105\text{mm}$; obteve-se massa específica do concreto fresco de $\text{pap} = 2,329\text{ g/cm}^3$, a resistência a compressão média foi de $\text{fck}_{\text{med}7} = 27,687\text{ MPa}$ para os 7 dias e de $\text{fck}_{\text{med}28} = 33,248\text{ MPa}$ para os 28 dias. Logo é correto afirmar, que, a betonada B11 obteve êxito, na tentativa de se obter um concreto C25 S100, bem melhor que os limites estabelecidos.

Tabela 4.30 – Dados 11ª Betonada (B11) – Traço, Slump, Dimensões e Tensão.

11ª BETONADA - B11 20% VIDRO				DIAS	CP'S	DIMENSÕES (mm)				h/d _{med}	CARGA (kN)	TENSÃO fck (MPa)
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}			
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	1101	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	179,8	26,469
					1102	19	9,4	9,2	9,3	2,04	181,2	26,675
					1103	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	188,3	27,720
					1104	19	9,3	9,3	9,3	2,04	200,4	29,501
					1105	19	9,3	9,3	9,3	2,04	184,5	27,161
					1106	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	181,7	26,748
					1107	19	9,3	9,3	9,3	2,04	203,9	30,017
					1108	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	184,8	27,205
Dados do concreto				28	1109	19	9,4	9,2	9,3	2,04	227,5	33,491
Abatimento (mm)		105	1110		19	9,4	9,3	9,35	2,03	230,1	33,512	
fck médio 7 dias (MPa)		27,687	1111		19,1	9,35	9,25	9,3	2,05	232,9	34,286	
fck médio 28 dias (MPa)		33,248	1112		18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	222,1	32,696	
pap	2,329	g/cm³	A (%)		1113	19,2	9,3	9,2	9,25	2,08	215,8	32,113
ps	2,160	g/cm³	8,02		1114	19	9,3	9,2	9,25	2,05	223,4	33,244
psat	2,333	g/cm³	Iv (%)		1115	19	9,3	9,3	9,3	2,04	224,4	33,034
pr	2,612	g/cm³	17,32		1116	19	9,3	9,3	9,3	2,04	228,3	33,609

Fonte: Própria (2021).

4.2.3. Análise dos Dados

Como já dito antes, a primeira série de betonadas serviu para experimentação da relação água cimento e assim nortear a segunda série de betonadas.

Na primeira série de betonadas se utilizou relação água/cimento diferentes entre si, ao analisar o comportamento do concreto fresco, optou-se por padronizar a relação água/cimento em $a/c = 0,525$; apesar de ainda maior que o recomendado pela FUNTAC, que é de $a/c = 0,50$; este fator apresentou, em análise visual no momento das betonadas, a trabalhabilidade adequada para se obter o abatimento desejado de $S = 100 \pm 20$ mm, como pode ser visto na Tabela 4.31.

Tabela 4.31 – Relação fator a/c x abatimento das betonadas.

SÉRIE	% VIDRO	BETONADAS	FATOR A/C	ABATIMENTO (mm)
1ª	0	B1	0,55	100
	0	B2	0,575	120
	5	B3	0,525	90
	10	B4	0,5175	80
	15	B5	0,53	100
	20	B6	0,5125	90
2ª	0	B7	0,525	90
	5	B8	0,525	90
	10	B9	0,525	90
	15	B10	0,525	90
	20	B11	0,525	105

Fonte: Própria (2021).

Vale a pena lembrar, que, a operação física das betonadas e dos ensaios do concreto fresco, são para um operador de betoneira, corriqueiras, porém, para estudiosos do concreto, que possuem pouca prática na operação deste maquinário, tal operação pode ser um verdadeiro desafio, o que pode vir a afetar a qualidade do concreto das primeiras betonadas, assim, é possível afirmar que no decorrer das betonadas, obteve-se mais experiência prática, afetando diretamente na qualidade da elaboração dos ensaios, por isso, se decidiu fazer a análise estatística dos dados dos ensaios de rompimento a compressão dos corpos de prova.

Para se verificar o quão homogêneo foram os dados de rompimento dos corpos de prova utilizou-se a estatística, afim de se determinar limites aceitáveis de resistência, resistência que ficaram fora de padrão (outliers) e para verificar a homogeneidade dos dados utilizou-se o coeficiente de variação (CV), quão menor for o coeficiente da variação mais homogêneo são os dados, menor é a dispersão em torno da média.

4.2.3.1. Análise do f_{ck} – concreto sem vidro moído (B1, B2 e B7)**A) 1ª Betonada – B1 – 1ª série – sem vidro moído**

A Tabela 4.32 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 1ª betonada, que não possui vidro moído em sua composição e faz parte da 1ª série de betonadas.

Tabela 4.32 – Dados estatísticos da 1ª Betonada (B1).

1ª BETONADA – B1 – 0% VIDRO			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
Dados estatísticos					Individual	Média	
1º Quartil (MPa)	Q1	25,69	7	101	23,951	24,398	-
3º Quartil (MPa)	Q3	27,35		102	24,246		-
Amplitude (MPa)	Q3-Q1	1,66		103	23,987		-
Limite Superior (MPa)	-	28,5		104	24,82		-
Limite Inferior (MPa)	-	23,52		105	24,211		-
Variância	S²	5,43		106	23,987		-
Desvio Padrão	S	2,33		107	25,706		-
Coeficiente Variação (%)	CV	8,96%		108	24,279		-
Dados do concreto			28	109	28,574	26,018	SIM SUP.
Abatimento (mm)	S	100		110	25,983		-
Absorção d'água (%)	A	8,74		111	25,689		-
Índice de vazios (%)	Iv	18,8		112	26,852		-
Pap (g/cm³)	Pap	2,299		113	27,426		-
Ps (g/cm³)	Ps	2,151		114	25,706		-
Psat (g/cm³)	Psat	2,339		115	20,786		SIM INF.
Pr (g/cm³)	Pr	2,649		116	27,133		-

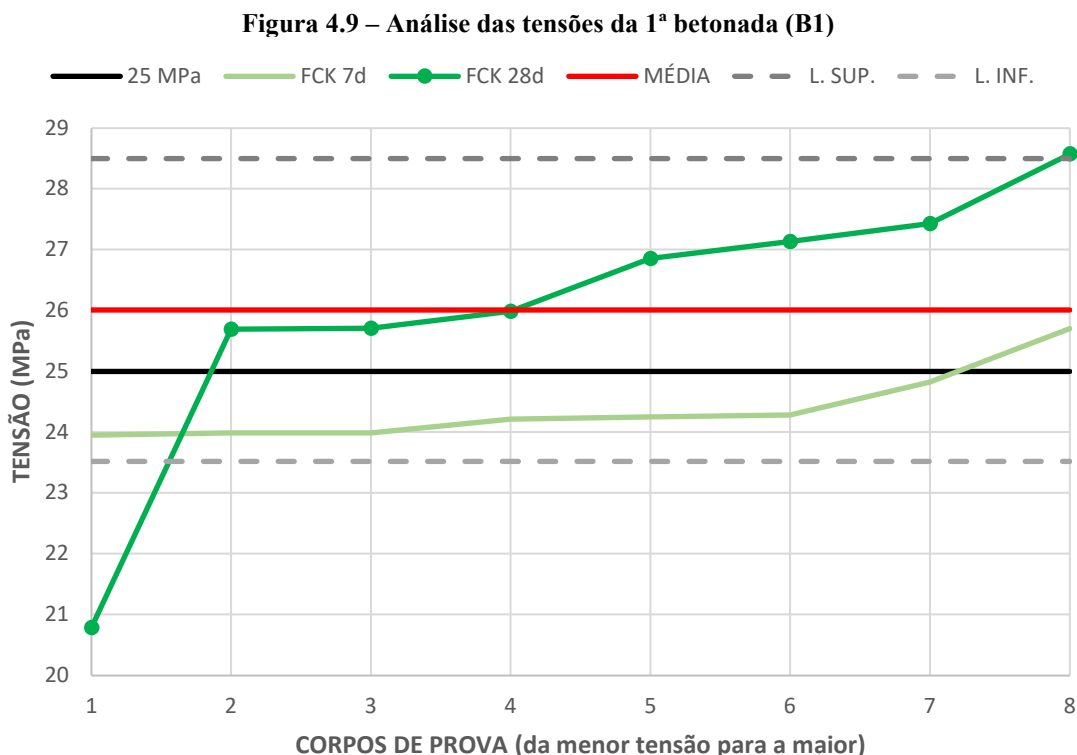
Fonte: Própria (2021).

É possível verificar na Tabela 4.32, as médias do $f_{ck7} = 24,398$ MPa e $f_{ck28} = 26,018$ MPa; através da média do f_{ck28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”. Para o concreto, o limite inferior é muito mais preocupante, que, o limite superior, visto que, para o inferior se tem concreto de resistência menores. Nesta betonada os CP's 109 e 115 estão fora de padrão, sendo o mais preocupante o CP115 com $f_{ck28-115} = 20,786$ MPa, considerando que todos os outros CP's atingiram resistência superiores aos 25 MPa desejados, a justifica mais plausível para a baixa resistência do CP115 seria uma operação no adensamento e moldagem do corpo de prova ineficiente.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 6,23%, tal porcentagem com certeza foi “puxada para baixo”, devido à baixa resistência do “outlier” CP115.

A Figura 4.9 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.



Fonte: Própria (2021).

É possível identificar os “outliers” CP109 e CP115 na Figura 4.9, sendo o primeiro CP115 e o último o CP109.

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 8,96\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 10%, uma variação que pode ser considerada baixa, quanto menor o coeficiente de variação melhor.

Na Figura 4.9 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 5,0MPa, uma diferença assim é importante para o concreto pois pode mudar a sua classe de resistência, quanto mais próximos os limites, menor é a variação no resultado final, o que traz mais confiança para o traço.

B) 2ª Betonada – B2 – 1ª série – sem vidro moído

A Tabela 4.33 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 2ª betonada, que não possui vidro moído em sua composição e faz parte da 1ª série de betonadas.

Tabela 4.33 – Dados estatísticos da 2ª Betonada (B2).

2ª BETONADA – B2 – 0% VIDRO			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
Dados estatísticos					Individual	Média	
1º Quartil (MPa)	Q1	25,8	7	201	23,434	23,435	-
3º Quartil (MPa)	Q3	26,28		202	23,434		-
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	0,48		203	23,686		-
Limite Superior (MPa)	-	26,49		204	23,113		-
Limite Inferior (MPa)	-	25,05		205	23,473		-
Variância	S²	1,16		206	24,599		-
Desvio Padrão	S	1,07		207	22,808		-
Coeficiente Variação (%)	CV	4,15%		208	22,930		-
Dados do concreto			28	209	25,777	25,767	-
Abatimento (mm)	S	120		210	25,880		-
Absorção d'água (%)	A	8,79		211	26,807		SIM SUP.
Índice de vazios (%)	Iv	18,87		212	26,186		-
Pap (g/cm³)	Pap	2,304		213	25,850		-
Ps (g/cm³)	Ps	2,146		214	26,318		-
Psat (g/cm³)	Psat	2,335		215	26,084		-
Pr (g/cm³)	Pr	2,645		216	23,230		SIM INF.

Fonte: Própria (2021).

É possível verificar na Tabela 4.33, as médias do $fck_7 = 23,435$ MPa e $fck_{28} = 25,767$ MPa; através da média do fck_{28} se determinou os outros dados estatísticos.

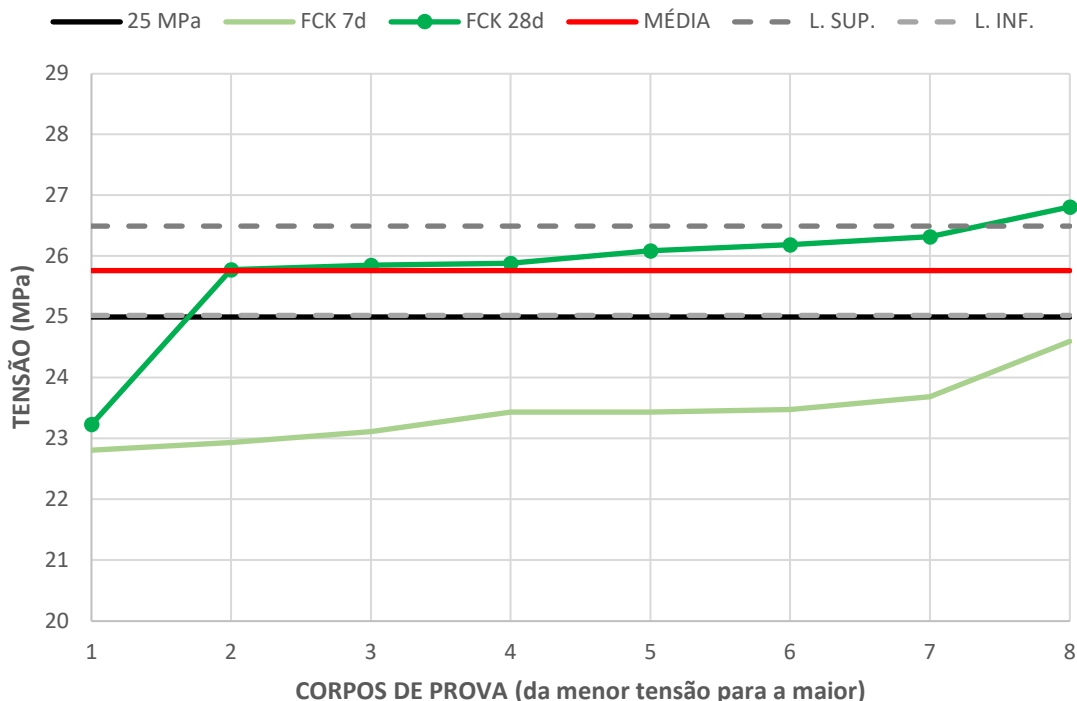
Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”. Para o concreto, o limite inferior é muito mais preocupante, que, o limite superior, visto que, para o inferior se tem concreto de resistência menores. Nesta betonada os CP's 211 e 216 estão fora de padrão, sendo o mais preocupante o CP216 com $fck_{28-216} = 23,230$ MPa, considerando que todos os outros CP's atingiram resistência superiores aos 25 MPa desejados, a justifica mais plausível para a baixa resistência do CP216 seria uma operação no adensamento e moldagem do corpo de prova ineficiente.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 9,05%, tal porcentagem com certeza foi “puxada para baixo”, devido à baixa resistência do “outlier” CP216.

A Figura 4.10 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites

superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Figura 4.10 – Análise das tensões da 2ª betonada (B2)



Fonte: Própria (2021).

É possível identificar os “outliers” CP211 e CP216 na Figura 4.10, sendo o primeiro CP216 e o último o CP211.

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 4,15\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 5%, uma variação que pode ser considerada muito baixa, quanto menor o coeficiente de variação melhor.

Na Figura 4.10 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 1,4MPa, a pequena diferença traz mais confiança para o traço e significa pouca variação do resultado final.

C) 7ª Betonada – B7 – 2ª série – sem vidro moído

A Tabela 4.34 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 7ª betonada, que não possui vidro moído em sua composição e faz parte da segunda série de betonadas, onde o fator água cimento foi fixado em $a/c=0,525$, para todas as betonadas.

Para evitar corpos de prova fora do padrão, como nas betonadas da primeira série, adotou-se uma rigorosidade maior nos procedimentos de adensamento e moldagem e dos corpos de prova nos moldes, não foram realizadas alterações nos procedimentos, só um cuidado maior do operador nestas etapas.

Tabela 4.34 – Dados estatísticos da 7ª Betonada (B7).

7ª BETONADA – B7 – 0% VIDRO			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
Dados estatísticos					Individual	Média	
1º Quartil (MPa)	Q1	27,15	7	701	24,628	24,717	-
3º Quartil (MPa)	Q3	27,69		702	24,643		-
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	0,54		703	24,894		-
Limite Superior (MPa)	-	28,27		704	24,322		-
Limite Inferior (MPa)	-	26,65		705	24,919		-
Variância	S²	0,14		706	25,806		-
Desvio Padrão	S	0,37		707	24,118		-
Coeficiente Variação (%)	CV	1,35%		708	24,408		-
Dados do concreto			28	709	26,958	27,456	-
Abatimento (mm)	S	90		710	27,278		-
Absorção d'água (%)	A	8,58		711	28,132		-
Índice de vazios (%)	Iv	18,44		712	27,643		-
Pap (g/cm³)	Pap	2,315		713	27,293		-
Ps (g/cm³)	Ps	2,149		714	27,701		-
Psat (g/cm³)	Psat	2,333		715	27,541		-
Pr (g/cm³)	Pr	2,634		716	27,102		-

Fonte: Própria (2021).

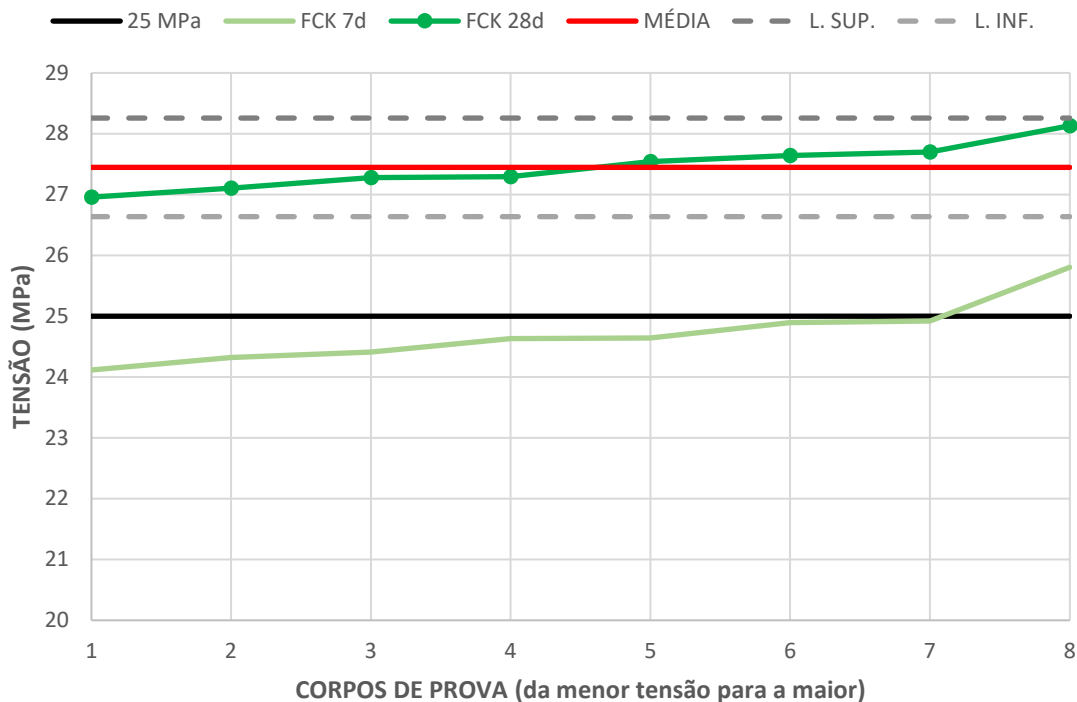
É possível verificar na Tabela 4.34, as médias do $fck_7 = 24,717$ MPa e $fck_{28} = 27,456$ MPa; através da média do fck_{28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”, porém, com a maior rigorosidade no adensamento e moldagem dos CP's, não ocorreram “outliers”.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 9,98%.

A Figura 4.11 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Figura 4.11 – Análise das tensões da 7ª betonada (B7)



Fonte: Própria (2021).

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 1,35\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 2%, uma variação que pode ser considerada baixíssima.

Na Figura 4.11 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 1,6MPa, a pequena diferença traz mais confiança para o traço e significa pouca variação do resultado final.

4.2.3.2. Análise do fck – concreto com 5% de vidro moído (B3 e B8).

A) 3ª Betonada – B3 – 1ª série – 5% de vidro moído

A Tabela 4.35 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 3ª betonada, que possui 5% de vidro moído em sua composição e faz parte da 1ª série de betonadas.

É possível verificar na Tabela 4.35, as médias do $fck_7 = 25,565$ MPa e $fck_{28} = 28,888$ MPa; através da média do fck_{28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”. Para o concreto, o limite inferior é muito mais preocupante, que, o limite superior, visto que, para o inferior se tem concreto de

resistência menores. Nesta betonada os CP's 313 e 314 estão fora de padrão, considerando que todos os outros CP's atingiram resistência superiores aos 25 MPa desejados, a justifica mais plausível para o aparecimento de “outliers”, seria a operação no adensamento e moldagem dos corpos de prova ineficiente.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 11,50%.

Tabela 4.35 – Dados estatísticos da 3ª Betonada (B3).

3ª BETONADA – B3			TENSÃO (MPa)				OUTLIERS
5% VIDRO			DIAS	CP's	Individual	Média	
Dados estatísticos							
1º Quartil (MPa)	Q1	28,79	7	301	20,565	-	
3º Quartil (MPa)	Q3	29,23		302	27,426	-	
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	0,44		303	24,583	-	
Limite Superior (MPa)	-	29,55		304	27,131	-	
Limite Inferior (MPa)	-	28,23		305	24,555	-	
Variância	S²	0,62		306	27,131	-	
Desvio Padrão	S	0,78		307	27,143	-	
Coeficiente Variação (%)	CV	2,70%		308	25,983	-	
Dados do concreto			28	309	28,866	-	
Abatimento (mm)	S	90		310	29,181	-	
Absorção d'água (%)	A	8,36		311	29,245	-	
Índice de vazios (%)	Iv	18,04		312	28,780	-	
Pap (g/cm³)	Pap	2,323		313	27,161	SIM INF.	
Ps (g/cm³)	Ps	2,159		314	29,929	SIM SUP.	
Psat (g/cm³)	Psat	2,339		315	28,809	-	
Pr (g/cm³)	Pr	2,634		316	29,133	-	

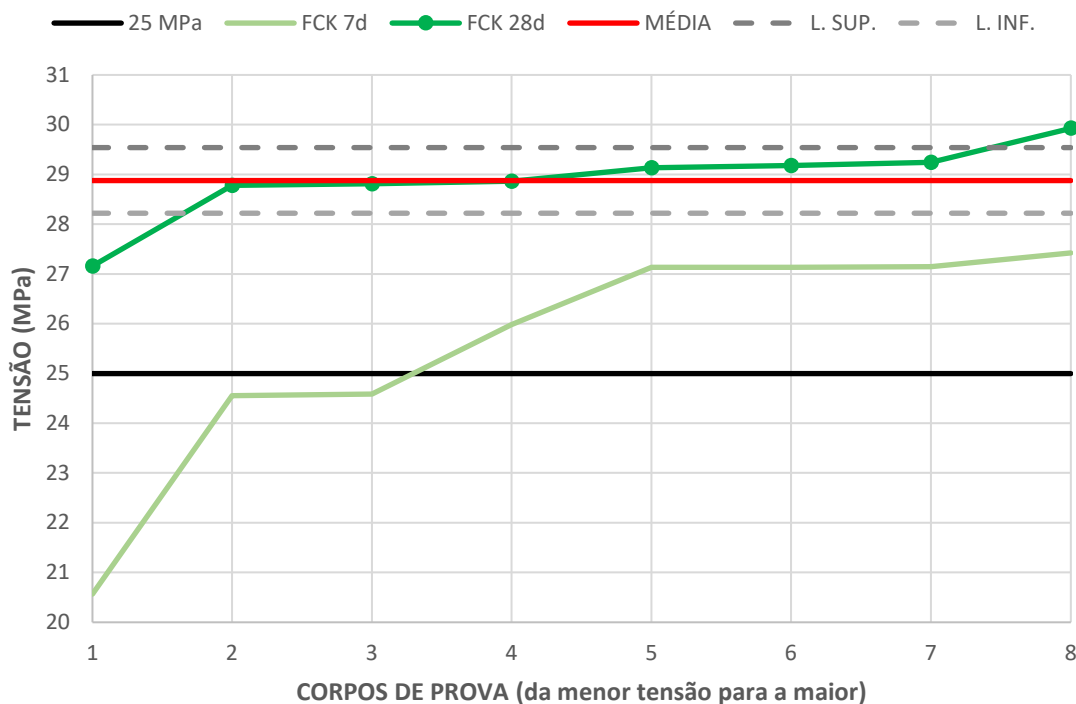
Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.12 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

É possível identificar os “outliers” CP313 e CP314 na Figura 4.12, sendo o primeiro CP313 e o último o CP314.

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 4,15\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 5%, uma variação que pode ser considerada muito baixa.

Figura 4.12 – Análise das tensões da 3ª betonada (B3)



Fonte: Própria (2021).

Na Figura 4.12 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 1,3MPa, a pequena diferença traz mais confiança para o traço e significa pouca variação do resultado final.

B) 8ª Betonada – B8 – 2ª série – 5% de vidro moído

A Tabela 4.36 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 8ª betonada, que possui 5% vidro moído em sua composição e faz parte da segunda série de betonadas, onde o fator água cimento foi fixado em $a/c=0,525$, para todas as betonadas.

Para evitar corpos de prova fora do padrão, como nas betonadas da primeira série, adotou-se uma rigorosidade maior nos procedimentos de adensamento e moldagem e dos corpos de prova nos moldes, não foram realizadas alterações nos procedimentos, só um cuidado maior do operador nestas etapas.

É possível verificar na Tabela 4.36, as médias do $fck_7 = 27,002$ MPa e $fck_{28} = 29,265$ MPa; através da média do fck_{28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequados a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”, porém, com a maior rigorosidade no adensamento e moldagem dos CP’s, não ocorreram “outliers”.

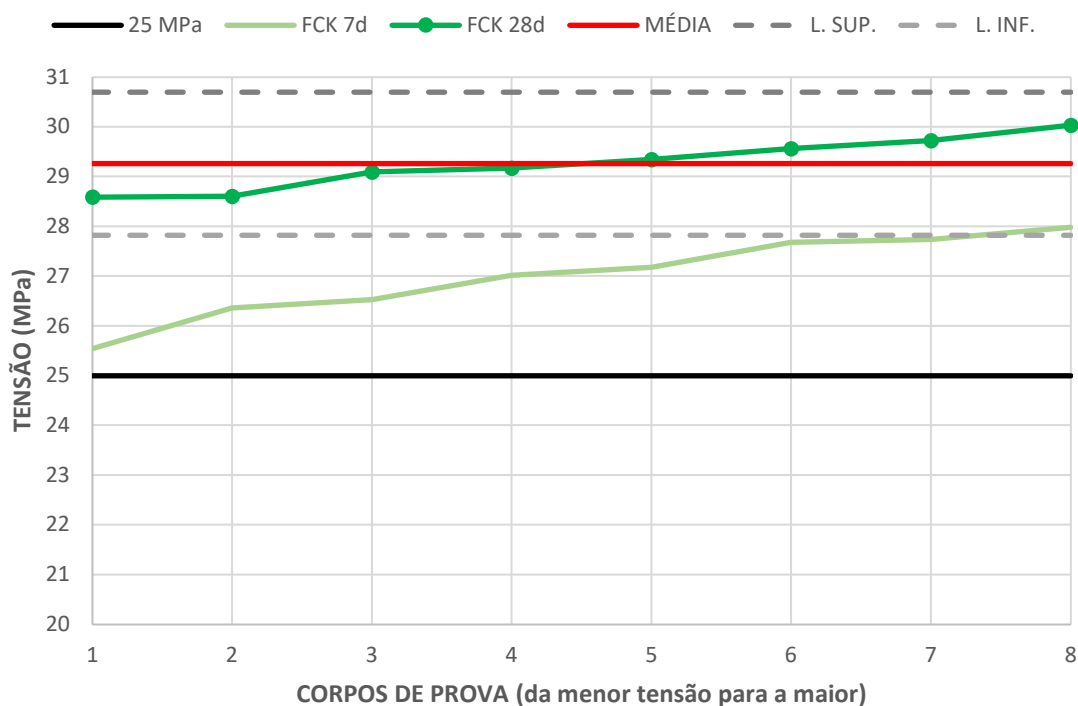
Tabela 4.36 – Dados estatísticos da 8ª Betonada (B8).

8ª BETONADA – B8			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
5% VIDRO					Individual	Média	
Dados estatísticos			7		27,002		
1º Quartil (MPa)	Q1	28,72					
3º Quartil (MPa)	Q3	29,68					
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	0,96					
Limite Superior (MPa)	-	30,71					
Limite Inferior (MPa)	-	27,83					
Variância	S²	0,26					
Desvio Padrão	S	0,51					
Coeficiente Variação (%)	CV	1,74%		808	26,356	-	
Dados do concreto			28		29,265		
Abatimento (mm)	S	90					
Absorção d'água (%)	A	8,33					
Índice de vazios (%)	Iv	18,00					
Pap (g/cm³)	Pap	2,329					
Ps (g/cm³)	Ps	2,16					
Psat (g/cm³)	Psat	2,34					
Pr (g/cm³)	Pr	2,635					

Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.13 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Figura 4.13 – Análise das tensões da 8ª betonada (B8)



Fonte: Própria (2021).

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 7,73%.

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 1,74\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 2%, uma variação que pode ser considerada baixíssima.

Na Figura 4.13 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 2,88MPa, a pequena diferença traz mais confiança para o traço e significa pouca variação do resultado final.

4.2.3.3. Análise do f_{ck} – concreto com 10% de vidro moído (B4 e B9).

A) 4ª Betonada – B4 – 1ª série – 10% de vidro moído

A Tabela 4.37 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 4ª betonada, que possui 10% de vidro moído em sua composição e faz parte da 1ª série de betonadas.

Tabela 4.37 – Dados estatísticos da 4ª Betonada (B4).

4ª BETONADA – B4			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
10% VIDRO					Individual	Média	
Dados estatísticos			7				
1º Quartil (MPa)	Q1	29,76		401	26,852	-	
3º Quartil (MPa)	Q3	32,98		402	27,425	-	
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	3,22		403	27,705	-	
Limite Superior (MPa)	-	36,41		404	26,265	-	
Limite Inferior (MPa)	-	26,75		405	24,806	-	
Variância	S²	2,89		406	28,884	-	
Desvio Padrão	S	1,7		407	22,509	-	
Coeficiente Variação (%)	CV	5,38%	408	30,311	-		
Dados do concreto				409	29,148	-	
Abatimento (mm)	S	80		410	31,845	-	
Absorção d'água (%)	A	7,79		411	29,241	-	
Índice de vazios (%)	Iv	17,05		412	32,652	-	
Pap (g/cm³)	Pap	2,340	28	413	31,303	-	
Ps (g/cm³)	Ps	2,190		414	33,874	-	
Psat (g/cm³)	Psat	2,360		415	31,518	-	
Pr (g/cm³)	Pr	2.640		416	33,093	-	

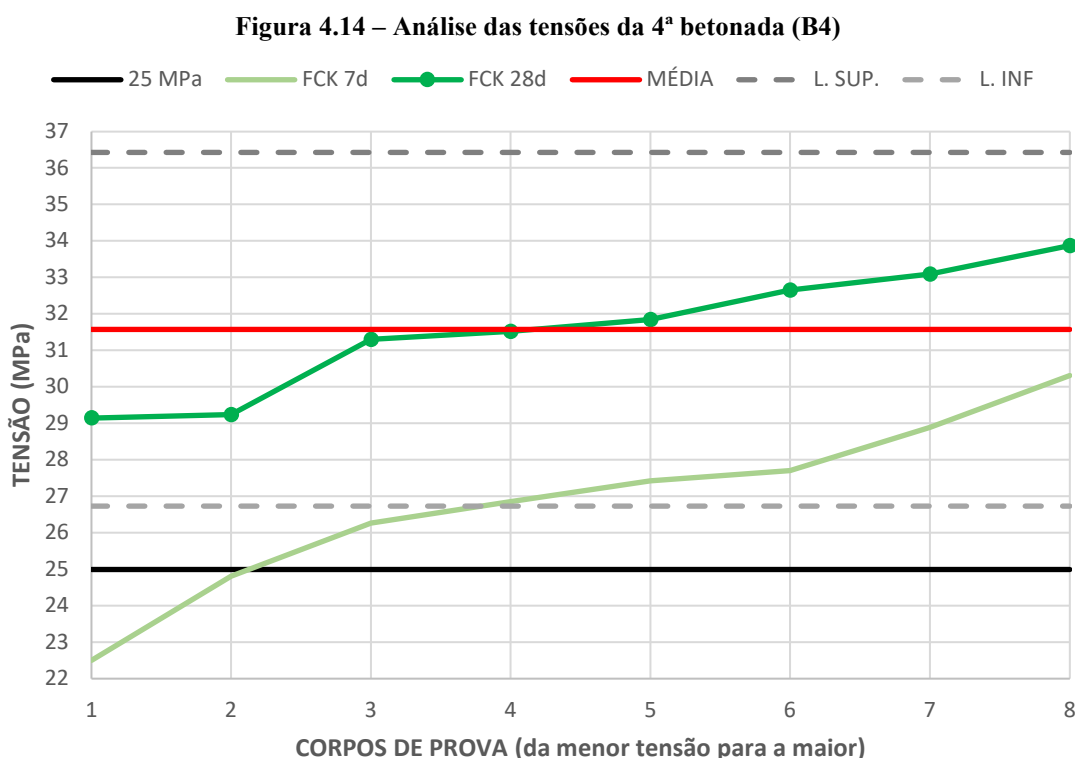
Fonte: Própria (2021).

É possível verificar na Tabela 4.37, as médias do $f_{ck7} = 26,845$ MPa e $f_{ck28} = 31,584$ MPa; através da média do f_{ck28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequados a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”, porém, com a maior rigorosidade no adensamento e moldagem dos CP's, não ocorreram “outliers”.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 15,00%.

A Figura 4.14 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.



Fonte: Própria (2021).

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 5,38\%$, isso significa um distanciamento da média pouco maior que 5%, uma variação que pode ser considerada baixa.

Na Figura 4.14 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 9,66MPa, uma diferença assim é importante para o concreto pois pode mudar a sua classe de resistência, quanto mais próximos os limites, menor é a variação no resultado final, o que traz mais confiança para o traço, porém a diferença entre limites de 9,66MPa, pode ser considerada uma variação preocupante, pois significa grandes variações de resistência no concreto.

B) 9ª Betonada – B9 – 2ª série – 10% de vidro moído

A Tabela 4.38 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 9ª betonada, que possui 10% vidro moído em sua composição e faz parte da segunda série de betonadas, onde o fator água cimento foi fixado em $a/c=0,525$, para todas as betonadas.

Para evitar corpos de prova fora do padrão, como nas betonadas da primeira série, adotou-se uma rigorosidade maior nos procedimentos de adensamento e moldagem e dos corpos de prova nos moldes, não foram realizadas alterações nos procedimentos, só um cuidado maior do operador nestas etapas.

É possível verificar na Tabela 4.38, as médias do $fck_7 = 27,467$ MPa e $fck_{28} = 31,365$ MPa; através da média do fck_{28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”, porém, com a maior rigorosidade no adensamento e moldagem dos CP’s, não ocorreram “outliers”.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 12,43%.

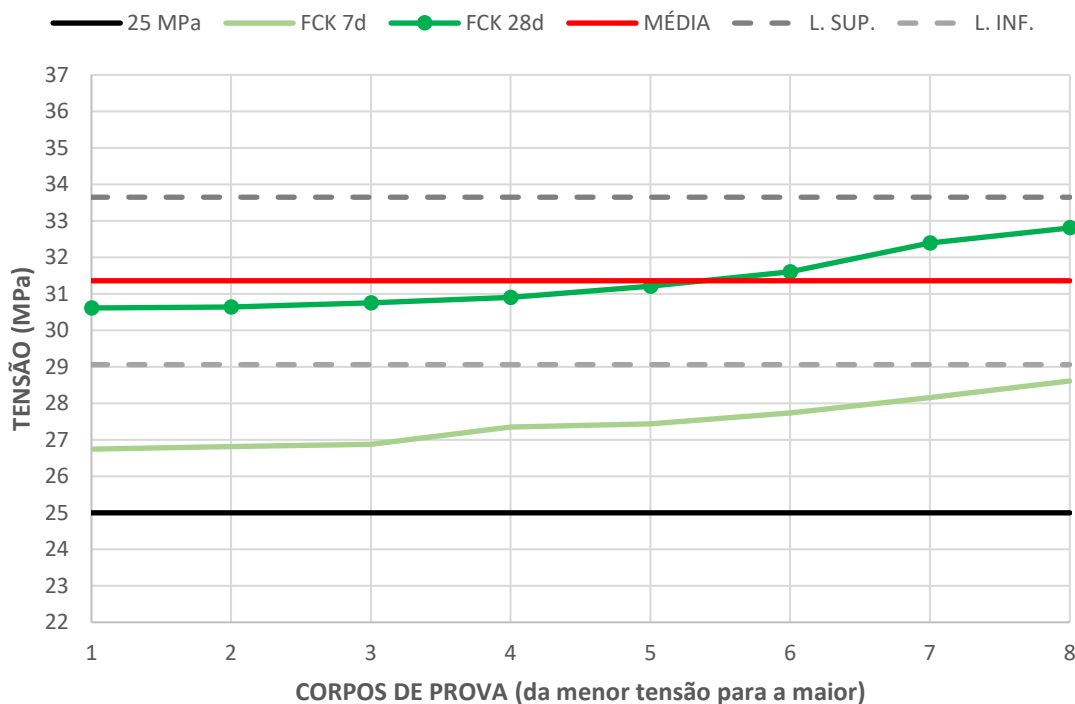
Tabela 4.38 – Dados estatísticos da 9ª Betonada (B9).

9ª BETONADA – B9			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
10% VIDRO					Individual	Média	
Dados estatísticos			7				
1º Quartil (MPa)	Q1	30,66		901	26,813	-	
3º Quartil (MPa)	Q3	32,19		902	27,735	-	
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	1,53		903	27,352	-	
Limite Superior (MPa)	-	33,66		904	26,875	-	
Limite Inferior (MPa)	-	29,07		905	26,748	-	
Variância	S²	0,7		906	27,439	-	
Desvio Padrão	S	0,83		907	28,618	-	
Coeficiente Variação (%)	CV	2,65%	908	28,153	-		
Dados do concreto			28	909	30,904	-	
Abatimento (mm)	S	90		910	31,606	-	
Absorção d'água (%)	A	7,80		911	31,205	-	
Índice de vazios (%)	Iv	17,10		912	30,614	-	
Pap (g/cm³)	Pap	2,333		913	32,812	-	
Ps (g/cm³)	Ps	2,193		914	30,635	-	
Psat (g/cm³)	Psat	2,364		915	32,391	-	
Pr (g/cm³)	Pr	2,645		916	30,753	-	

Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.15 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Figura 4.15 – Análise das tensões da 9ª betonada (B9)



Fonte: Própria (2021).

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 2,65\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 3%, uma variação que pode ser considerada baixa.

Na Figura 4.15 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 4,59MPa, quanto mais próximos os limites, menor é a variação no resultado final, o que traz mais confiança para o traço, em relação a betonada B4 a diferença entre os limites diminuiu o que traz mais confiança ao traço da betonada B9 em relação a B7.

4.2.3.4. Análise do fck – concreto com 15% de vidro moído (B5 e B10).

A) 5ª Betonada – B5 – 1ª série – 15% de vidro moído

A Tabela 4.39 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 5ª betonada, que possui 15% de vidro moído em sua composição e faz parte da 1ª série de betonadas.

É possível verificar na Tabela 4.39, as médias do $fck_7 = 27,119$ MPa e $fck_{28} = 31,017$ MPa; através da média do fck_{28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”. Para o concreto, o limite inferior é

muito mais preocupante, que, o limite superior, visto que, para o inferior se tem concreto de resistência menores. Nesta betonada o CP 509 está fora de padrão, a justifica mais plausível para o aparecimento de “outliers”, seria a operação no adensamento e moldagem dos corpos de prova ineficiente.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 12,57%, tal porcentagem com certeza foi “puxada para baixo”, devido à baixa resistência do “outlier” CP509.

Tabela 4.39 – Dados estatísticos da 5ª Betonada (B5).

5ª BETONADA – B5			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
15% VIDRO					Individual	Média	
Dados estatísticos							
1º Quartil (MPa)	Q1	29,81	7	501	27,485	27,119	-
3º Quartil (MPa)	Q3	33,53		502	26,793		-
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	3,72		503	27,779		-
Limite Superior (MPa)	-	36,6		504	27,396		-
Limite Inferior (MPa)	-	25,44		505	28,619		-
Variância	S²	8,23		506	27,058		-
Desvio Padrão	S	2,86		507	24,908		-
Coefficiente Variação (%)	CV	9,22%		508	26,915		-
Dados do concreto				509	25,097		SIM INF.
Abatimento (mm)	S	100	28	510	31,269	31,017	-
Absorção d'água (%)	A	8,29		511	31,415		-
Índice de vazios (%)	Iv	17,98		512	29,507		-
Pap (g/cm³)	Pap	2,331		513	30,730		-
Ps (g/cm³)	Ps	2,168		514	34,153		-
Psat (g/cm³)	Psat	2,348		515	34,080		-
Pr (g/cm³)	Pr	2,643		516	31,886		-

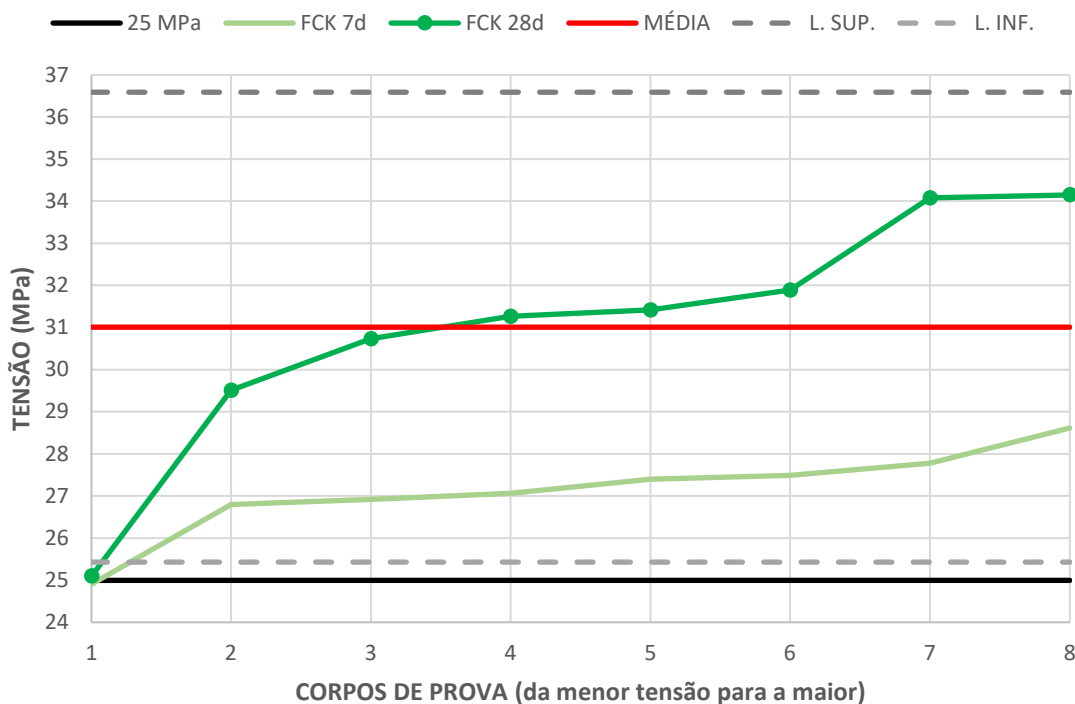
Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.16 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 9,22\%$, isso significa um distanciamento da média pouco menor que 10%, uma variação que pode ser considerada baixa.

Na Figura 4.16 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 11,16MPa, uma diferença assim é importante para o concreto pois pode mudar a sua classe de resistência, quanto mais próximos os limites, menor é a variação no resultado final, o que traz mais confiança para o traço, porém a diferença entre limites de 11,16MPa, pode ser considerada uma variação preocupante, pois significa grande variações de resistência no concreto.

Figura 4.16 – Análise das tensões da 5ª betonada (B5)



Fonte: Própria (2021).

B) 10ª Betonada – B10 – 2ª série – 15% de vidro moído

A Tabela 4.40 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 10ª betonada, que possui 15% vidro moído em sua composição e faz parte da segunda série de betonadas, onde o fator água cimento foi fixado em $a/c=0,525$, para todas as betonadas.

Para evitar corpos de prova fora do padrão, como nas betonadas da primeira série, adotou-se uma rigorosidade maior nos procedimentos de adensamento e moldagem e dos corpos de prova nos moldes, não foram realizadas alterações nos procedimentos, só um cuidado maior do operador nestas etapas.

É possível verificar na Tabela 4.40, as médias do $fck_7 = 27,972$ MPa e $fck_{28} = 32,567$ MPa; através da média do fck_{28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequados a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”, porém, com a maior rigorosidade no adensamento e moldagem dos CP’s, não ocorreram “outliers”.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 14,11%.

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 2,89\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 3%, uma variação que pode ser considerada baixa.

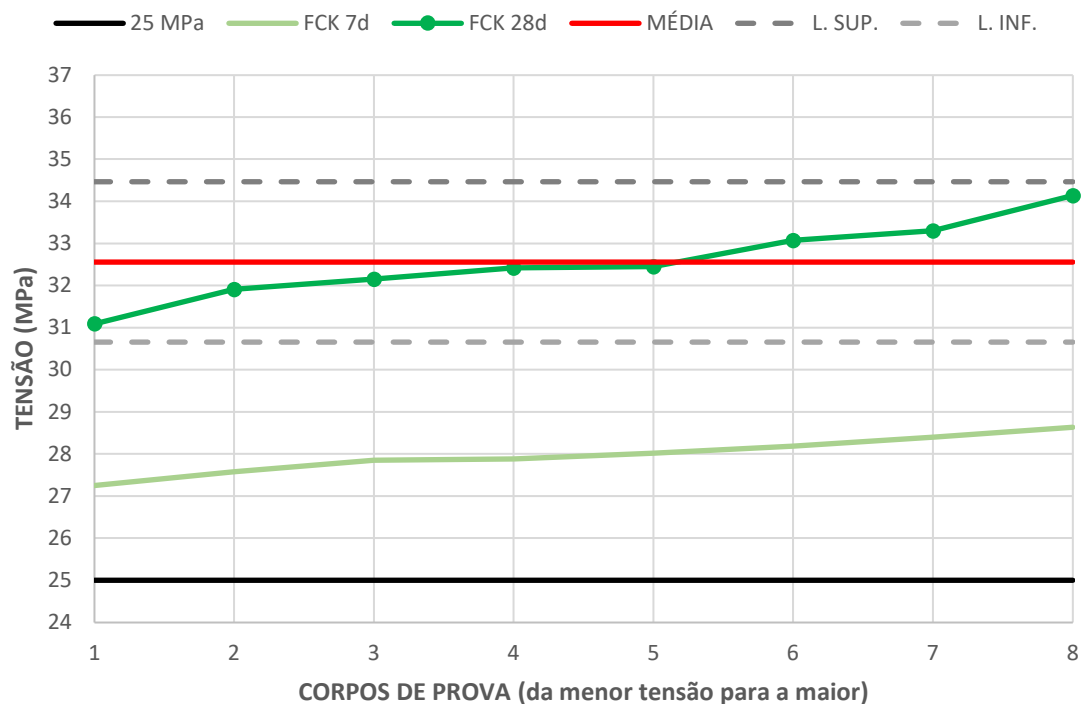
Tabela 4.40 – Dados estatísticos da 10ª Betonada (B10).

10ª BETONADA – B10			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
15% VIDRO					Individual	Média	
Dados estatísticos			7	1001	28,015	27,972	-
1º Quartil (MPa)	Q1	31,97					
3º Quartil (MPa)	Q3	33,24					
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	1,27					
Limite Superior (MPa)	-	34,47					
Limite Inferior (MPa)	-	30,66					
Variância	S²	0,87					
Desvio Padrão	S	0,93					
Coeficiente Variação (%)	CV	2,86%	28	1009	32,449	32,567	-
Dados do concreto							
Abatimento (mm)	S	90					
Absorção d'água (%)	A	8,18					
Índice de vazios (%)	Iv	17,74					
Pap (g/cm³)	Pap	2,334					
Ps (g/cm³)	Ps	2,169					
Psat (g/cm³)	Psat	2,346					
Pr (g/cm³)	Pr	2,637	28	1010	31,095	32,151	-
1001	27,250	-					
1002	27,853	-					
1003	28,397	-					
1004	28,182	-					
1005	28,633	-					
1006	27,574	-					
1007	27,876	-					
1008	32,449	-					
1009	31,095	-					
1010	32,151	-					
1011	32,420	-					
1012	31,910	-					
1013	34,139	-					
1014	33,075	-					
1015	33,299	-					
1016							

Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.17 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Figura 4.17 – Análise das tensões da 10ª betonada (B10)



Fonte: Própria (2021).

Na Figura 4.17 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 3,81MPa, quanto mais próximos os limites, menor é a variação no resultado final, o que traz mais confiança para o traço, em relação a betonada B5 a diferença entre os limites diminuiu o que traz mais confiança ao traço da betonada B10 em relação a B5.

4.2.3.5. Análise do f_{ck} – concreto com 20% de vidro moído (B6 e B11).

A) 6ª Betonada – B6 – 1ª série – 20% de vidro moído

A Tabela 4.41 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 6ª betonada, que possui 20% de vidro moído em sua composição e faz parte da 1ª série de betonadas.

É possível verificar na Tabela 4.41, as médias do $f_{ck7} = 27,096$ MPa e $f_{ck28} = 33,513$ MPa; através da média do f_{ck28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”, porém, com a maior rigorosidade no adensamento e moldagem dos CP’s, não ocorreram “outliers”.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 19,15%.

Tabela 4.41 – Dados estatísticos da 6ª Betonada (B6).

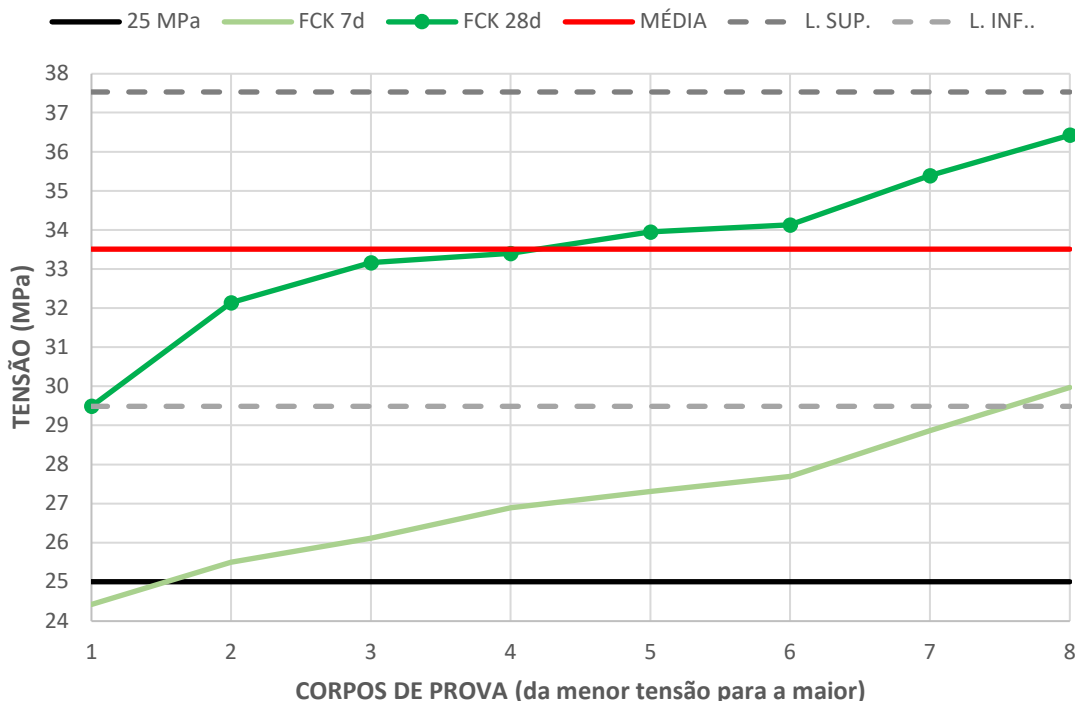
6ª BETONADA – B6 20% VIDRO			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
Dados estatísticos					Individual	Média	
1º Quartil (MPa)	Q1	32,4	7	601	28,868	27,096	-
3º Quartil (MPa)	Q3	35,08		602	26,890		-
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	2,68		603	29,972		-
Limite Superior (MPa)	-	37,53		604	24,423		-
Limite Inferior (MPa)	-	29,49		605	25,502		-
Variância	S²	4,4		606	26,115		-
Desvio Padrão	S	2,09		607	27,692		-
Coefficiente Variação (%)	CV	6,24%		608	27,308		-
Dados do concreto			28	609	34,133	33,513	-
Abatimento (mm)	S	90		610	29,493		-
Absorção d'água (%)	A	7,95		611	36,428		-
Índice de vazios (%)	Iv	17,16		612	33,167		-
Pap (g/cm³)	Pap	2,331		613	35,390		-
Ps (g/cm³)	Ps	2,157		614	32,143		-
Psat (g/cm³)	Psat	2,329		615	33,402		-
Pr (g/cm³)	Pr	2,604		616	33,947		-

Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.18 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites

superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Figura 4.18 – Análise das tensões da 6ª betonada (B6)



Fonte: Própria (2021).

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 6,24\%$, isso significa um distanciamento da média pouco menor que 10%, uma variação que pode ser considerada baixa.

Na Figura 4.18 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 8,04MPa, uma diferença assim é importante para o concreto pois pode mudar a sua classe de resistência, quanto mais próximos os limites, menor é a variação no resultado final, o que traz mais confiança para o traço, porém a diferença entre limites de 8,04MPa, pode ser considerada uma variação preocupante, pois significa grande variações de resistência no concreto.

B) 11ª Betonada – B11 – 2ª série – 20% de vidro moído

A Tabela 4.42 apresenta dos dados do ensaio de resistência a compressão do concreto da 11ª betonada, que possui 20% vidro moído em sua composição e faz parte da segunda série de betonadas, onde o fator água cimento foi fixado em $a/c=0,525$, para todas as betonadas.

Para evitar corpos de prova fora do padrão, como nas betonadas da primeira série, adotou-se uma rigorosidade maior nos procedimentos de adensamento e moldagem e dos corpos de prova nos moldes, não foram realizadas alterações nos procedimentos, só um cuidado maior do operador nestas etapas.

É possível verificar na Tabela 4.42, as médias do $f_{ck7} = 27,687$ MPa e $f_{ck28} = 33,248$ MPa; através da média do f_{ck28} se determinou os outros dados estatísticos.

Os quartis, foram utilizados para se determinar os limites adequado a resistência do concreto, através dos limites se identificam os “outliers”, porém, com a maior rigorosidade no adensamento e moldagem dos CP’s, não ocorreram “outliers”.

Observando as resistências médias aos 7 dias e 28 dias, é possível determinar o ganho de resistência do período 16,73%.

Tabela 4.42 – Dados estatísticos da 11ª Betonada (B11).

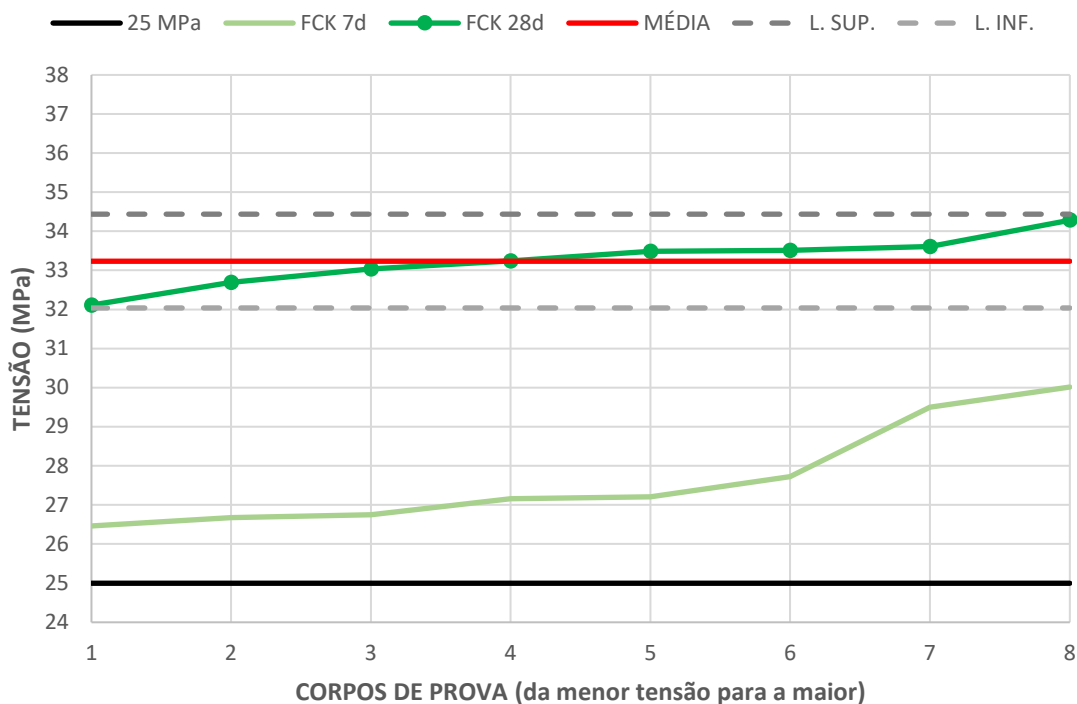
11ª BETONADA – B11			DIAS	CP's	TENSÃO (MPa)		OUTLIERS
20% VIDRO					Individual	Média	
Dados estatísticos							
1º Quartil (MPa)	Q1	32,78	7	1101	26,469	27,687	-
3º Quartil (MPa)	Q3	33,58		1102	26,675		-
IQR - Amplitude (MPa)	Q3-Q1	0,8		1103	27,720		-
Limite Superior (MPa)	-	34,45		1104	29,501		-
Limite Inferior (MPa)	-	32,05		1105	27,161		-
Variância	S²	0,42		1106	26,748		-
Desvio Padrão	S	0,65		1107	30,017		-
Coefficiente Variação (%)	CV	1,96%		1108	27,205		-
Dados do concreto				1109	33,491		-
Abatimento (mm)	S	105	28	1110	33,512	33,248	-
Absorção d'água (%)	A	8,02		1111	34,286		-
Índice de vazios (%)	Iv	17,32		1112	32,696		-
Pap (g/cm³)	Pap	2,329		1113	32,113		-
Ps (g/cm³)	Ps	2,160		1114	33,244		-
Psat (g/cm³)	Psat	2,333		1115	33,034		-
Pr (g/cm³)	Pr	2,612		1116	33,609		-

Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.19 apresenta o gráfico da resistência a compressão dos corpos de prova rompidos aos 7 e 28 dias, bem como a média da resistência a compressão aos 28 dias, limites superiores e inferiores, os dados estão dispostos de acordo com os corpos de prova, do CP de menor resistência para o de maior.

Com a determinação da variância e desvio padrão, é possível determinar o coeficiente de variação, para a betonada em questão $CV = 1,96\%$, isso significa um distanciamento da média menor que 2%, uma variação que pode ser considerada baixíssima.

Figura 4.19 – Análise das tensões da 11ª betonada (B11)



Fonte: Própria (2021).

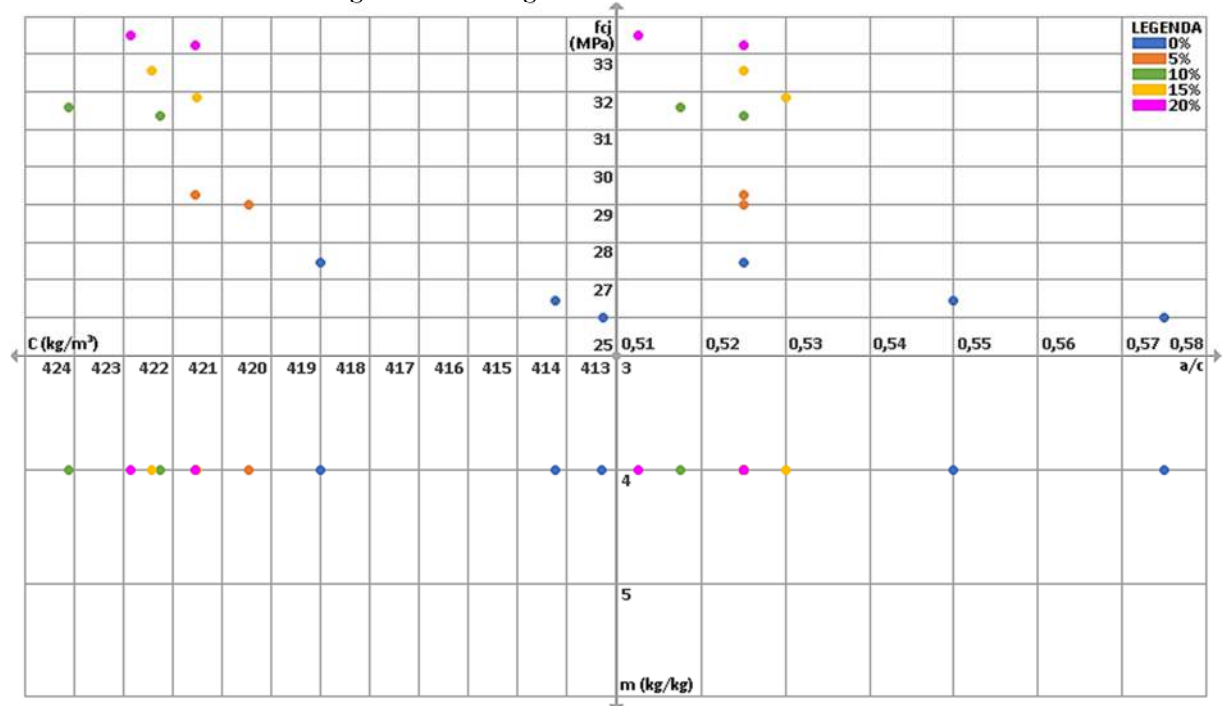
Na Figura 4.19 ainda é possível visualizar a distância entre os limites superiores e inferiores de aproximadamente 2,40MPa, quanto mais próximos os limites, menor é a variação no resultado final, o que traz mais confiança para o traço, em relação a betonada B6 a diferença entre os limites diminuiu o que traz mais confiança ao traço da betonada B11 em relação a B6.

4.2.3.6. Diagrama de dosagem do IBRACON

Utilizando-se dos resultados de resistência a compressão (fck), relação água/cimento (a/c), relação agregados secos (m) e consumo de cimento (C), é possível projetar o diagrama de dosagem do IBRACON dos concretos do estudo. Porém, cabe lembrar que os concretos do estudo utilizaram uma relação agregados secos apenas no valor de $m=4$, logo, o diagrama apresenta uma simulação para os outros valores de “m”. Assim, recomenda-se a elaboração de mais traços de concretos para afinar o diagrama.

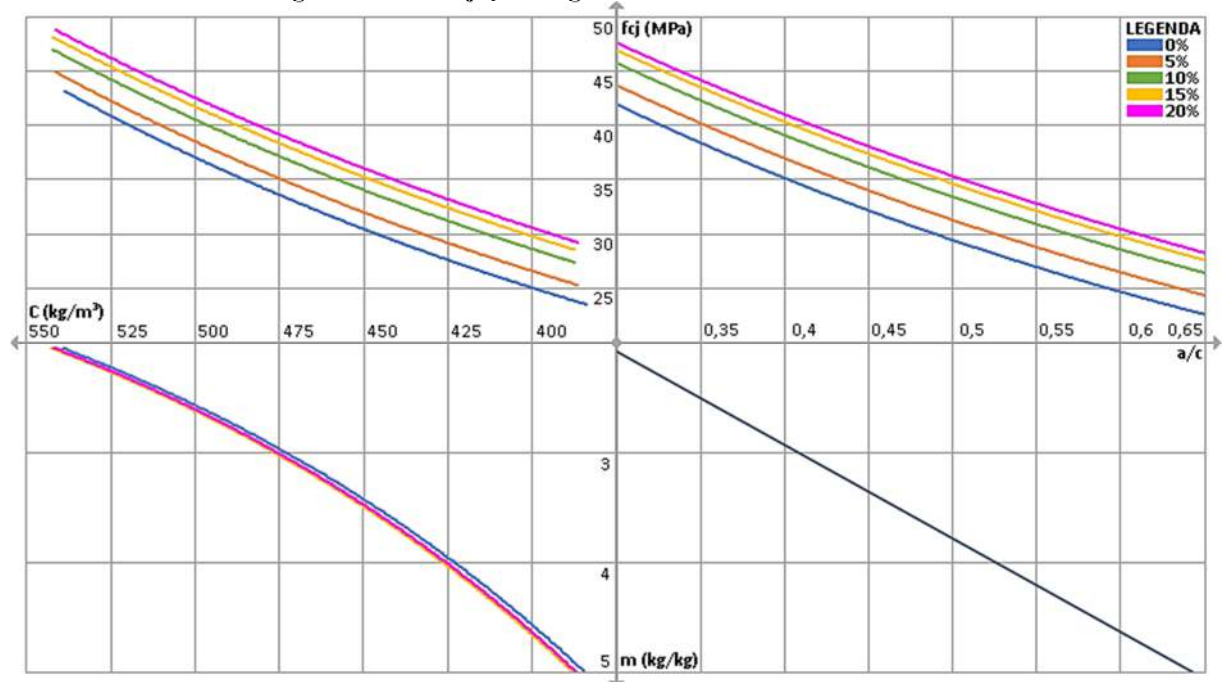
A Figura 4.20 apresenta o diagrama do modelo do IBRACON, com os valores médios das betonadas do estudo. Já a Figura 4.21 apresenta a simulação do diagrama do IBRACON para os concretos do estudo, levando em consideração os resultados da segunda série de betonadas, que utiliza a relação água/cimento de valor $a/c=0,525$, além da resistência a compressão para os corpos de prova rompidos aos 28 dias.

Figura 4.20 – Diagrama dos Concretos– fck 28dias.



Fonte: Própria (2021).

Figura 4.21 – Projeção do gráfico do IBRACON – fck 28dias.



Fonte: Própria (2021).

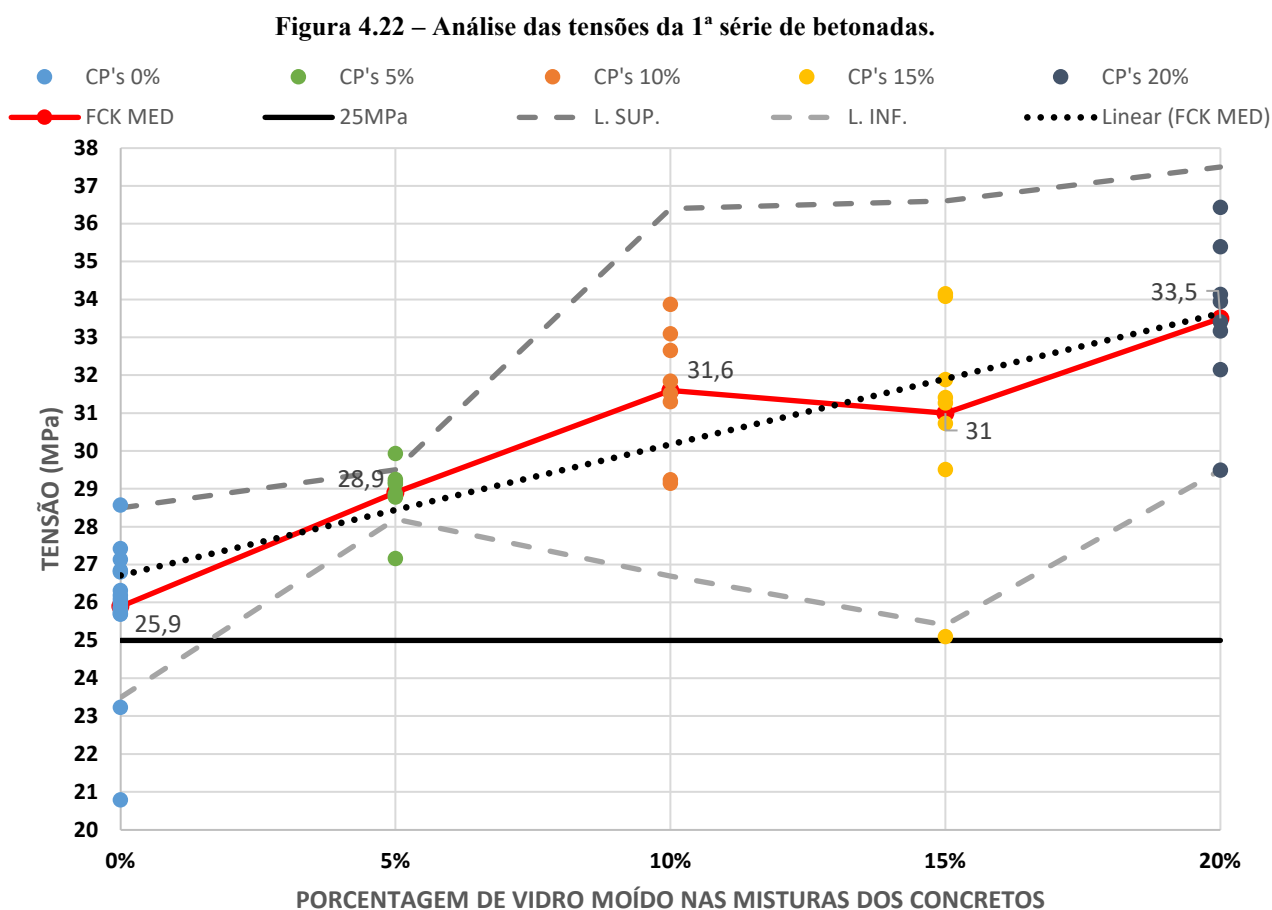
4.2.3.7. Análise do fck – séries das betonadas – 1ª Série x 2ª Série.

Analizando as séries de betonadas separadamente, 1ª Série, betonadas B1, B2, B3, B4, B5 e B6; posteriormente a 2ª Série, betonadas, B7, B8, B9, B10 e B11. Tomando os resultados

dos dados dos ensaios compressão dos corpos de prova, utilizados nas montagens dos gráficos apresentados anteriormente, é possível montar a Figura 4.22 que apresenta os dados das betonadas da 1ª série e a Figura 4.23 que apresenta os dados das betonadas da 2ª série.

A) Análise geral da 1ª série de betonadas (B1, B2, B3, B4, B5 e B6)

A Figura 4.22 apresenta dos dados dos ensaios de compressão da 1ª série de betonadas, série essa que teve o fator água/comento das betonadas variável, como dito anteriormente, a betonadas desta série, funcionaram como elementos experimentais, para poder determinar um fator água/cimento, padrão a ser utilizados, fator que foi padronizado na 2ª série de betonadas em “a/c=0,525”



Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.22 apresenta as betonadas com os seguintes dados:

- B1; 0% de vidro; a/c = 0,55; S = 100mm; $f_{ck_{med28}} = 26,019$ MPa;
- B2; 0% de vidro; a/c = 0,575; S = 120mm; $f_{ck_{med28}} = 25,767$ MPa;
- B3; 5% de vidro; a/c = 0,525; S = 90mm; $f_{ck_{med28}} = 28,888$ MPa;

- B4; 10% de vidro; $a/c = 0,5175$; $S = 80\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 31,584\text{ MPa}$;
- B5; 15% de vidro; $a/c = 0,53$; $S = 100\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 31,017\text{ MPa}$;
- B6; 20% de vidro; $a/c = 0,5125$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 33,513\text{ MPa}$.

Vale ressaltar, a betonada B5, executada com substituição da areia do rio acre em 15% por vidro moído, apresentou resistência abaixo da betonadas B4, a qual possuía substituição da areia por 10% de vidro moído, porém, visualizando os fatores água/cimentos de ambas, se presume o óbvio, maior quantidade de água, maior abatimento, porém, menor resistência.

Ainda assim, a resistência média de abas as betonadas B4 (31,58 MPa) e B5 (31,02 MPa) estão acima da resistência média das betonadas B1 (26,2 MPa) e B2 (25,77 MPa), que não possuíam vidro moído em sua composição e são o traço pra o concreto referência C25 S100.

Voltando a analisar a Figura 4.22, fica claro que os traços com vidro moídos tiveram sua resistência a compressão melhores se comparados aos traços sem vidro moído em suas composições. Assim a nomenclatura dos traços da primeira série de betonadas fica:

- **B1; C25 S100** (0% de vidro; $a/c = 0,55$; $S = 100\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 26,019\text{ MPa}$);
- **B2; C25 S120** (0% de vidro; $a/c = 0,575$; $S = 120\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 25,767\text{ MPa}$);
- **B3; C25 S90** (5% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 28,888\text{ MPa}$);
- **B4; C30 S80** (10% de vidro; $a/c = 0,5175$; $S = 80\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 31,584\text{ MPa}$);
- **B5; C30 S100** (15% de vidro; $a/c = 0,53$; $S = 100\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 31,017\text{ MPa}$);
- **B6; C30 S90** (20% de vidro; $a/c = 0,5125$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 33,513\text{ MPa}$).

B) Análise geral da 2ª série de betonadas (B7, B8, B9, B10 e B11)

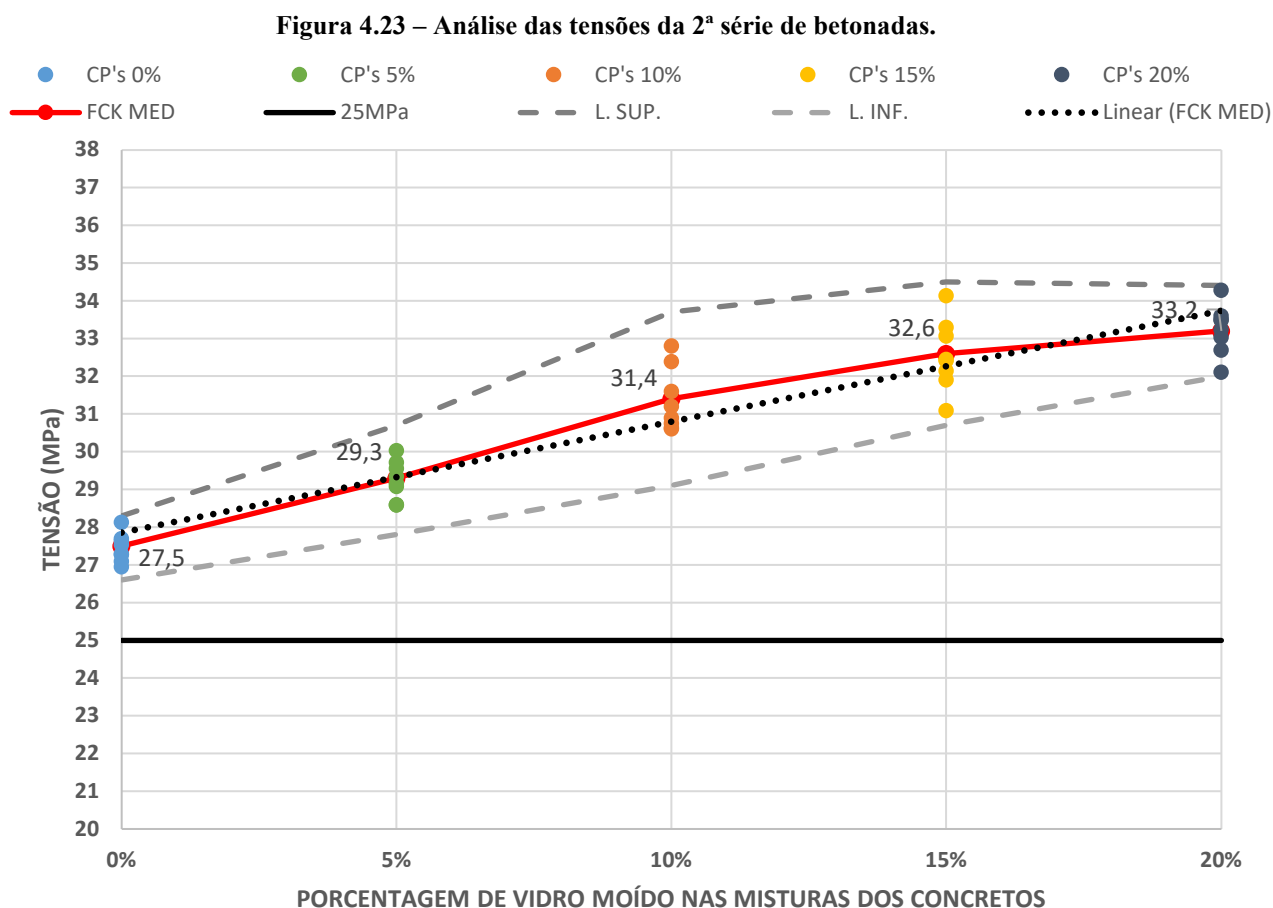
Já a Figura 4.23 apresenta dos dados dos ensaios de compressão da 2ª série de betonadas, série essa que teve o fator água/comento padrão fixado em “ $a/c=0,525$ ”. Também, como dito anteriormente, para evitar o aparecimento de corpos de prova fora de padrão, aplicou-se no adensamento e moldagem dos corpos de prova maior rigorosidade de cuidados, não se modificou nada no procedimento de adensamento e moldagem dos corpos de prova, só se tomou um cuidado maior na execução de tais serviços, logo, estes são cuidados subjetivo que também pode influenciar os resultados finais.

Como pode ser visto na Figura 4.23, é visível o ganho de resistência, nos traços que possuem vidro moído em sua composição, tal ganho de resistência está ligado com a melhora da granulometria do agregado miúdo, onde, ao se utilizar o agregado miúdo composto por areia do rio Acre e vidro moído, com o vidro moído na granulometria adequada, o vidro moído, mais

grosso (retido na peneira de abertura 6mm e passante na peneira de abertura 1,18mm), acaba por melhorar a granulometria da areia do rio Acre, muito fina ($D_{max} = 0,3\text{mm}$), fazendo com que o volume de vazios sejam reduzidos.

Com o uso do agregado miúdo composto (areia rio Acre + vidro moído), se pode destacar algumas melhorias vistas nos resultados finais do concreto, como:

1. Melhoramento da granulometria do agregado miúdo;
2. Redução no índice de vazio dos agregados miúdos;
3. Melhoramento nas propriedades do agregado miúdo;
4. Ganho de resistência no concreto;
5. Fator ecológico, o vidro não possui reciclagem no Acre;
6. Melhoramento nas propriedades dos concretos;



Fonte: Própria (2021).

A Figura 4.23 apresenta as betonadas com os seguintes dados:

- B7; 0% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 27,456\text{ MPa}$;
- B8; 5% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 29,265\text{ MPa}$;

- B9; 10% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 31,365\text{ MPa}$;
- B10; 15% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 32,567\text{ MPa}$;
- B11; 20% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 105\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 33,248\text{ MPa}$.

É possível visualizar a melhora na resistência dos concretos com o acréscimo de vidro moído ao agregado miúdo, um material que no Acre seria encaminhado para aterros sanitários para descarte, pode, com um processo de moagem simples, ser utilizado para melhorar o concreto acreano.

Vale a pena lembrar, que, apenas se substituiu parte da areia do rio Acre que seria usada nos traços e por vidro moído, lógico que, na granulometria adequada, retido na peneira de abertura 0,6mm e passante na peneira de abertura 1,2mm.

Ao se comparar o ganho de resistência entre as betonadas sem vidro moído e as com vidro moído é possível verificar em porcentagens, quanto a resistência possuiu de aumento, isso pode ser visto na Tabela 4.43.

Tabela 4.43 – Porcentagem de ganho de resistência entre betonadas

BETONADAS COM VIDROMOÍDO									
BETONADAS SEM VIDRO	Séries	1ª Série de Betonadas				2ª Série de Betonadas			
	Betonadas	B3	B4	B5	B6	B8	B9	B10	B11
	% vidro	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
	Fator a/c	0,525	0,5175	0,53	0,5125	0,525	0,525	0,525	0,525
B1	0,55	9,93	17,62	16,12	22,36	11,10	17,05	20,11	21,75
B2	0,575	10,80	18,42	16,93	23,11	11,95	17,85	20,88	22,50
B7	0,525	4,96	13,07	11,48	18,07	6,18	12,46	15,69	17,42
MÉDIA		8,56	16,37	14,84	21,18	9,74	15,79	18,89	20,56

Fonte: Própria (2021).

Observando a Tabela 4.43, é possível verificar que todos os concretos com substituição parcial da areia por vidro moído tiveram aumento na resistência a compressão final. As betonadas com vidro moído da 1ª série possuíram porcentagens de ganho de resistência crescentes, porém, não lineares de acordo com o aumento de vidro na composição, isso ocorreu em virtude dos diferentes tipos de fatores água/cimentos utilizados, como pode ser comprovado nas betonadas com vidro da segunda séries que possuíram aumento no ganho de resistência crescentes e lineares, conforme a porcentagem de vidro aumenta na composição do traço. Assim a nomenclatura dos traços da primeira série de betonadas fica:

- B7; C25 S90 (0% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 27,456\text{ MPa}$);
- B8; C25 S90 (5% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 29,265\text{ MPa}$);
- B9; C30 S90 (10% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 31,365\text{ MPa}$);
- B10; C30 S90 (15% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 90\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 32,567\text{ MPa}$);

- **B11; C30 S100** (20% de vidro; $a/c = 0,525$; $S = 105\text{mm}$; $f_{ck_{med28}} = 33,248\text{ MPa}$).

Logo é correto afirmar que a utilização de vidro moído para dosagens de concretos no estado do Acre, com a finalidade de melhorar o concreto acreano, mostra-se promissora, unindo propriedades como o apelo ecológico, utiliza vidros que seriam descartados em aterros, gerando da mistura da areia do rio Acre, “mais fina” e vidro moído, “mais grosso”, um agregado miúdo composto pelos dois agregados, assim melhorando a granulometria e reduzindo índice de vazios, do agregado miúdo composto.

O concreto com vidro moído em sua composição apresentou em todos os ensaios dos rompimentos dos corpos de prova de concreto maiores resistências que os concretos sem vidro moído em sua composição.

Porém, há necessidade de mais estudos para verificar se as vantagens vistas, são realmente fatos, visto que este é apenas um estudo, sendo necessários mais estudos que confirmem o que foi visto no presente estudo. Também há necessidade de observar o confortamento dos concretos com vidro moído em suas composições a longo prazo ou submetidos a intempéries agressivas para verificar se os mesmos apresentam desempenho semelhantes ao concreto sem adição de vidro moído.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto o concreto acreano sempre apresenta algum tipo de deficiência, quando não é técnica ela é econômica, logo qualquer estudo realizado com a finalidade de melhorar o concreto acreano é considerado válido, verificado que o vidro não é tratado ecologicamente no Acre, utiliza-lo para a produção de concreto pode reduzir a quantidade de vidro encaminhado para o aterro sanitário do estado, visto que o estado, não possui programa de reciclagem do vidro, pensando nisso, e através do estudo de trabalhos anteriores sobre a associação de vidro moído as argamassas e concretos, pensou-se na aplicação de vidro moído no concreto acreano, além de tentar trazer benefícios ecológicos, dando destino aos resíduos de vidro no estado e melhorando as características do concreto.

Quanto aos materiais pode ser dito, o agregado miúdo (areia do Rio Acre) é inadequado, visto a granulometria muito fina, elevando o consumo de cimento, quando se necessita melhorar a granulometria do agregado miúdo, utiliza-se pó de brita, que é importado do estado vizinho Rondônia, assim, pagando pelo material e o frete, elevando o preço final material e consequentemente do concreto. O agregado graúdo, também, é importado do estado vizinho Rondônia, porém, isso ocorre por razões geomorfológicas, já que o estado do Acre se encontra em uma bacia sedimentar e não possui jazidas de rocha disponíveis, mais uma vez se chega à conclusão óbvia, se paga pelo material e frete elevando o preço do material e do concreto. O cimento não é produzido no estado, sendo importado de outros, porém como visto no estudo seu preço não sofre grandes alterações se comparado ao estado vizinho Rondônia.

Assim, é correto afirmar que o concreto acreano sempre terá um preço elevado e qualidade inferior se comparado aos concretos de outros estados, pois, o agregado miúdo utilizado no Acre, é um material inadequado e o material britado vem de outro estado, possuindo um preço elevado.

Os ensaios tecnológicos nos agregados miúdos realizados foram: granulometria, absorção de água, densidade, massa específica, massa unitária, índice de vazios e determinação de materiais finos. Os agregados miúdos utilizados no estudo foram a areia do rio Acre (considerado um agregado miúdo mais fino) e o vidro moído (considerado um agregado miúdo mais grosso), na granulometria, passante na peneira de abertura 1,2mm e retido na peneira de abertura 0,6mm. As substituições parciais da areia do rio Acre por vidro moído foram executadas nas porcentagens 5, 10, 15, e 20% de vidro moído no lugar da areia. Como visto do estudo a granulometria da areia foi melhorada conforme se aumentava a porcentagem de vidro moído na mistura, a partir de porcentagem de 15% de vidro moído na areia do rio Acre, foi

possível enquadrar o agregado miúdo na zona utilizável inferior do ensaio de granulometria, sendo a porcentagem 20% a que apresentou melhor granulometria das misturas. Logo é correto afirmar que o vidro moído melhorou a granulometria do agregado miúdo.

Na densidade e massa específica do agregado miúdo, não ocorreram grandes mudanças, o que significa que os agregados miúdos com e sem vidro moído possuem densidades e massa específicas semelhantes. Já massa unitária, apresentou um aumento conforme se aumentava a porcentagem do vidro moído no agregado miúdo, logo se entende que a areia do rio Acre (agregado miúdo fino) preenchia os vazios do vidro moído (agregado miúdo grosso), tornando a mistura mais densa conforme o aumento de vidro moído no agregado miúdo. A afirmação anterior pode ser comprovada no índice de vazios do agregado miúdo que reduzia conforme se aumentava a porcentagem de vidro no agregado miúdo, confirmando a afirmação. Conforme de aumentava a porcentagem de vidro na mistura do agregado miúdo também se reduzia a absorção de água. Assim é correto afirmar que a substituição da areia do rio Acre por vidro moído, na granulometria adequada, trouxe inúmeras melhorias para o agregado miúdo do estudo.

Utilizando-se do método do IBRACON para elaboração do traço do concreto C25 S100, chegou-se ao traço unitário de projeto 1:1,35:2,65:0,5 (cimento:areia:brita:água), para os traços com substituição parcial da areia do rio Acre por vidro moído, os mesmos se apresentaram da seguinte maneira (cimento:areia:vidro:brita:água): concreto com 5% de vidro moído, 1:1,2825:0,0675:2,65:0,5; concreto com 5% de vidro moído, 1:1,215:0,135:2,65:0,5; concreto com 15% de vidro moído, 1:1,1475:0,2025:2,65:0,5; concreto com 20% de vidro moído 1:1,08:0,27:2,65:0,5. O método de dosagem do IBRACON, recomenda que o fator água/cimento não seja maior que 0,5, porém, se necessitou utilizar fatores água/cimento maiores que a recomendação do IBRACON, para se conseguir uma trabalhabilidade com o abatimento desejado de 100 ± 20 mm desejado.

Foram planejadas 10 betonadas, porém se executaram 11, sendo uma a mais para o concreto sem adições, as betonadas foram divididas em duas séries, fizeram parte da 1ª série as betonadas: B1 e B2, sem vidro moído; B3 com 5% de vidro moído em sua areia; B4 com 10% de vidro moído em sua areia; B5 com 15% de vidro moído em sua areia e B6 com 20% de vidro moído em sua areia. Fizeram parte da 2ª série as betonadas: B7, sem vidro moído; B8 com 5% de vidro moído em sua areia; B9 com 10% de vidro moído em sua areia; B10 com 15% de vidro moído em sua areia e B11 com 20% de vidro moído em sua areia. A grande diferença entre as primeiras séries de betonadas e a segunda, está na prática e experiência adquirida, a primeira série serviu como de experimentação para a segunda série de betonadas, por isso a primeira

série possui o fator água/cimento, variado, enquanto da segunda série de betonadas este fator foi fixado em 0,525.

Considerando o concreto projetado inicialmente, C25 S100, que previa o abatimento de 100mm, com uma variação aceitável de 20mm, para mais ou para menos, é correto afirmar, que, os abatimentos obtidos, para todos os concretos produzidos foram dentro dos limites estabelecidos, considerando o abatimento aprovado.

Para a massa específica do concreto fresco identificou-se um pequeno aumento na massa específica do concreto fresco com a substituição parcial da areia por vidro moído, isso ocorre, pois o vidro moído escolhido, possui a granulometria maior que a areia do rio Acre, logo, a areia do rio Acre, mais fina, preenche os vazios do vidro moído, mais grosso, tornando o concreto mais denso.

No ensaio de absorção de água concreto endurecido, é possível identificar uma redução da absorção entre o concreto convencional sem adições de vidro moídos e os concretos com vidro moído (areia do rio Acre), porém, tal redução na absorção é pequena, girando em torno de 1% de diferença, o que se conclui é que os concretos com vidro possuem uma tendência de absorver menos água se comparado com o concreto convencional sem vidro moído do estudo.

No ensaios de identificação dos índices de vazios do concreto endurecido, é possível identificar uma redução do índice de vazios, assim como na absorção, entre o concreto convencional sem adições de vidro moídos e os concretos com vidro moído (areia do rio Acre), porém, assim como na absorção, tal redução é pequena, não superando 2% de diferença, o que se conclui é que os concretos com vidro têm a tendência a reduzir os vazios se comparado com o concreto convencional, sem vidro moído do estudo, tal melhora é previsível, visto melhora na granulometria do agregado miúdo composto com a mistura da areia do rio Acre e o vidro moído, devido a seleção granulométrica escolhida entre o vidro moído (mais grosso, $>0,6\text{mm}$ e $<1,18\text{mm}$), que, a areia do rio Acre (mais fina, $<0,3\text{mm}$), fazendo com que o agregado mais fino preencha os vazios do agregado mais grosso, reduzindo os vazios, logo, é correto afirmar que a utilização de vidro moído para melhorar a granulometria da areia do rio Acre tende a reduzir o índice de vazios do concreto endurecido.

Para o ensaio da massa específica do concreto endurecido, não se verificou grandes mudanças, se comparando o concreto sem substituição parcial da areia do rio Acre por vidro moído, apesar do concreto com 20% de vidro em sua composição, apresentar um resultado menor que os demais. Logo, é correto afirmar que as massas específicas dos concretos endurecidos permaneceram semelhantes, sem grandes alterações.

Quanto a resistência a compressão todos os traços de concreto com vidro moído apresentaram melhora da resistência se comparados aos concretos sem vidro em sua composição. A primeira série de betonadas possui maior variabilidade de resultados, isso se atribui aos fatores água/cimento usados nestas betonadas, que foram variados, já na segunda série de betonadas, onde os fatores água/cimento foram fixados (0,525), os resultados se mostram em uma crescente, conforme se aumentou a porcentagem de vidro moído. Em alguns traços da primeira série de betonadas apareceram corpos de prova fora de padrão, o que não ocorreu na segunda série de betonadas, pois adotou-se uma rigorosidade maior nos procedimentos de adensamento e moldagem e dos corpos de prova nos moldes, não foram realizadas alterações nos procedimentos, só um cuidado maior do operador nestas etapas, reforçando que a primeira série de betonadas serviu como experimentação para a segunda série.

Quanto aos resultados em si, comparando a resistência a compressão, dos corpos de prova das betonadas sem vidro (B1, B2 e B7) a das betonadas com vidro moído, tem-se:

- B1; 0% de vidro; a/c = 0, 55; S = 100mm; $f_{ck28médio} = 26,019$ MPa;
- B2; 0% de vidro; a/c = 0, 575; S = 120mm; $f_{ck28médio} = 25,767$ MPa;
- B7; 0% de vidro; a/c = 0, 525; S = 90mm; $f_{ck28médio} = 27,456$ MPa;
- B3; 5% de vidro; a/c = 0, 525; S = 90mm; $f_{ck28médio} = 28,888$ MPa;
 - Aumento de 9,93% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 10,80% no fck em relação a B2;
 - Aumento de 4,96% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos sem vidro de 8,56%
- B8; 5% de vidro; a/c = 0, 525; S = 90mm; $f_{ck28médio} = 29,265$ MPa;
 - Aumento de 11,10% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 11,95% no fck em relação a B2;
 - Aumento de 6,18% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos sem vidro de 9,74%
- B4; 10% de vidro; a/c = 0, 5175; S = 80mm; $f_{ck28médio} = 31,584$ MPa;
 - Aumento de 17,65% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 18,42% no fck em relação a B2;
 - Aumento de 13,07% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos sem vidro de 16,37%
- B9; 10% de vidro; a/c = 0, 525; S = 90mm; $f_{ck28médio} = 31,365$ MPa;
 - Aumento de 17,05% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 17,85% no fck em relação a B2;

- Aumento de 12,46% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos sem vidro de 15,79%
- B5; 15% de vidro; a/c = 0,53; S = 100mm; $fck_{28médio} = 31,017$ MPa;
 - Aumento de 16,12% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 16,93% no fck em relação a B2;
 - Aumento de 11,48% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos de vidro de 14,84%
- B10; 15% de vidro; a/c = 0,525; S = 90mm; $fck_{28médio} = 32,567$ MPa;
 - Aumento de 20,11% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 20,88% no fck em relação a B2;
 - Aumento de 15,69% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos de vidro de 18,89%
- B6; 20% de vidro; a/c = 0,5125; S = 90mm; $fck_{28médio} = 33,513$ MPa.
 - Aumento de 22,36% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 23,11% no fck em relação a B2;
 - Aumento de 18,07% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos de vidro de 21,18%
- B11; 20% de vidro; a/c = 0,525; S = 105mm; $fck_{28médio} = 33,248$ MPa.
 - Aumento de 21,75% no fck em relação a B1;
 - Aumento de 22,50% no fck em relação a B2;
 - Aumento de 17,42% no fck em relação a B7;
 - ✓ Aumento médio do fck, em relação aos concretos de vidro de 20,56%

Assim é visível a melhora na resistência a compressão dos concretos com vidro moído se comparados aos concretos sem vidro, considerando o caráter ecológico, para a destinação do vidro no estado do Acre, o concreto mais apropriado para se trabalhar seria o concreto com 20% de vidro moído na substituição parcial da areia, visto as melhoras, com a granulometria se enquadrando na zona utilizável, menor índice de vazios, menor absorção d'água, maior massa unitária da areia, possibilidade de se reduzir o fator água/cimento, como visto na betonada B6, sem prejudicar a trabalhabilidade, além da melhora geral nas propriedades do concreto endurecido como um todo.

Vale ressaltar que o presente estudo é apenas o primeiro estudo utilizando vidro moído na composição do concreto acreano, logo são necessários mais estudos para melhorar e afinar os resultados obtidos.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Verificar a possibilidade da substituição parcial da areia do rio Acre por vidro moído na em outras granulometrias (passante na peneira de abertura #2,4mm e retido na peneira de abertura #1,2mm) no concreto sustentável com resíduo de vidro no Estado do Acre.
2. Análise de redução da quantidade de cimento portland no concreto sustentável com vidro moído no Estado do Acre, do presente estudo, preservando o concreto desejado C25 S100.
3. Realização de análise química do concreto sustentável com vidro moído, no Estado do Acre, afim de verificar ocorrência de reações álcalis-sílicas (RAS).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIVIDRO. (2016). Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. *Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações*. (F. S. Westphal, Ed.) São Paulo: Abrividro. Fonte: <https://abividro.org.br/2018/07/20/manual-de-vidro-plano-para-edificacoes-por-fernando-simon-westphal/>
- ABNT. (1990). NBR 11172:1990 - Aglomerantes de origem mineral - Terminologia. 5p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2003). NBR NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. 6p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2004). NBR 14931:2004 - Execução de estruturas de concreto - Procedimento. 53p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2004). NBR NM 293:2004 - Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios a sua aplicação. 20p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2005). NBR 9778:2005 Versão Corrigida 2:2009 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. 4p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2006). NBR 6467:2006 Versão Corrigida 2:2009 - Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. 5p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2008). NBR 9833:2008 Versão Corrigida:2009 - Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. 7p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2009). NBR 15900-1:2009 - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. 11p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2009). NBR 7211:2009 Versão Corrigida:2019 - Agregados para concreto - Especificação. 9p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2011). NBR 9935:2011 - Agregados - Terminologia. 12p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2012). NBR 14278:2012 - Concreto projetado - Determinação da consistência através da agulha de Proctor. 2p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2012). NBR 7212:2012 - Execução de concreto dosado em central - Procedimento. 16p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2014). NBR 12653:2014 Versão Corrigida:2015 - Materiais pozolânicos - Requisitos. 6p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2014). NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 238p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2015). NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. 23p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2015). NBR 5738:2015 Versão Corrigida:2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 9p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2015). NBR 8953:2015 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.

- ABNT. (2016). NBR 7199:2016 - Vidros na construção civil - Projeto, execução e aplicações. 57p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2017). NBR 15823-1:2017 - Concreto autoadensável - Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. 14p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2017). NBR 15823-2:2017 - Concreto autoadensável - Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. 5p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 15577-1 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. 21p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 15577-2 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto. 6p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 15577-3 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto. 14p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 15577-4 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. 17p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 15577-5 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. 9p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 15577-6 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto. 20p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 15577-7 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 7: Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado. 20p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 16607:2018 - Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. 4p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 16697:2018 - Cimento Portland - Requisitos. 12p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2018). NBR 5739:2018 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 9p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2019). NBR 11768-1:2019 - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 1: Requisitos. 27p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2019). NBR 7809:2019 - Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. 3p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2020). NBR 16889:2020 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 9p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2020). NBR 9831:2020 - Cimento Portland para poços petrolíferos — Requisitos e métodos de ensaio. 73p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.

- ABNT. (2021). NBR 16915:2021 - Agregados - Amostragem. 8p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2021). NBR 16916 - Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. 11p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2021). NBR 16917 - Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. 10p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT. (2021). NBR 16972 - Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. 10p. Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ACRE. (2009). Acre em números 2009. 176p. Rio Branco, Acre, Brasil: Secretaria de Estado de Planejamento (SEPLAN/AC).
- ACRE. (2010). Recursos naturais: geologia, geomorfologia e solos do Acre. *Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), ZEE/AC, fase II, escala 1:250.000 / Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre, Vol. 2*, 100 p. Rio Branco, Acre, Brasil: SEMA. Acesso em 14 de novembro de 2019 (Coleção Temática do ZEE; v. 2), disponível em https://www.amazonia.cnptia.embrapa.br/publicacoes_estados/Acre/Fase%202/Livro_Tematico_ZEE_Recursos_Naturais_Volume_2.pdf
- ACRE. (julho de 2012). Programa de Saneamento Ambiental Integrado e Inclusão Socioeconômica do Acre (PROSER). *Programa de Inclusão Social e Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado do Acre (PROACRE), Financiamento Adicional (PROSER), Anexo 3: Questões Sociais*, 20p. Rio Branco, Acre, Brasil.
- Akerman, M. (2000). *Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro*. Saint-Gobain - Vidros do Brasil, Centro Técnico de Elaboração do Vidro - CETEV, Poços de Caldas/MG. Acesso em 17 de Agosto de 2019, disponível em www.unifal-mg.edu.br/ppgcemateriais/files/file/processo%20seletivo/NaturezaEstrut_Prop_Vidro%20Saint%20Gobain%202000.pdf
- Alves, O. L., Gimenez, I. d., & Mazali, I. O. (Fevereiro de 2001). Vidros. *Cadernos Temáticos - Química Nova Escola*, p. 12. Acesso em 29 de setembro de 2019, disponível em http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_vidros.pdf
- ANCAT. (2021). Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. *Anuário da Reciclagem 2021*. Brasil. Fonte: [https://uploads-ssl.webflow.com/605512e6bb034aa16bac5b64/61c0df8ef4e32e41f3ef9943_Anuário%20da%20Reciclagem%202021%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/605512e6bb034aa16bac5b64/61c0df8ef4e32e41f3ef9943_Anuário%20da%20Reciclagem%202021%20(1).pdf)
- Assunção, J. W. (2002). *Curvas de dosagem para concretos convencionais com materiais da região noroeste do Paraná*. Dissertação, UFSC, Programa de PósGraduação em Engenharia Civil - Mestrado, Florianópolis. Acesso em 03 de outubro de 2019, disponível em <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83112/226913.pdf?sequence=1>
- Bauer, L. F. (2019). *Materiais de Construção* (6ª ed., Vol. 1). Rio de Janeiro, RJ, Brasil: LTC.
- CAIXA. (2020). SINAPI: Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de. (8ª Ed), 79p. Brasília, DF, Brasil: CAIXA. Acesso em 21 de Novembro de 2020, disponível em https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-manual-de-metodologias-e-conceitos/Livro1_SINAPI_Metodologias_e_Conceitos_8_Edicao.pdf

- Carvalho, A., Chaves, Â., Silva, B.-H., Caetano, L., Sena, L., & Rodrigues, S. (2018). Estudo de resistência do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por vidro de igual granulometria. *Instituto Federal do Tocantins (IFTO)*. Palmas, Tocantins, Brasil. Fonte: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/jice/9jice/paper/viewFile/9250/4127>
- CEBRACE. (09 de Setembro de 2019). *A história do vidro: O vidro é uma das descobertas mais surpreendentes do homem e sua história é cheia de mistérios*. Fonte: <https://www.cebrace.com.br/#!/enciclopedia/interna/a-historia-do-vidro>
- Cimento Itambé. (05 de Novembro de 2007). Aditivo ou adição? *Créditos: Eng^a Naguisa Tokudome – Assessora Técnico Comercial Itambé*. Brasil. Acesso em 02 de Outubro de 2019, disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/aditivo-ou-adicao/>
- Cintra, D. C., Fonseca, E. L., Tristão, F. A., & Vieira, G. L. (2013). *Estudo de procedimentos de adensamento do concreto por vibradores de imersão em obras na Grande Vitória – ES*. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto (CBC2013), Vitória/ES. Fonte: <https://lemacufes.files.wordpress.com/2012/03/estudo-de-procedimentos-de-adensamento-do-concreto-por-vibradores-de-imersc3a3o-em-obras-na-grande-vite3b3ria-es.pdf>
- Comunidade da Construção. (29 de setembro de 2019). Fonte: Comunidade da Construção - Sistemas a base de cimento: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/3/concretagem-praticas/execucao/60/concretagem-praticas.html>
- de Lima, F. B., Barboza, A. d., & Gomes, P. C. (2003). *Produção e Controle de Qualidade do Concreto* (1ª ed.). Maceió, Alagoas, Brasil: EDUFAL.
- Diogo, D. D., Silva, A. V., & Oliveira, M. D. (Março de 2020). Estudo para utilização do resíduo de vidro na substituição de agregado miúdo na confecção de concreto. *Simpósio, [S.I.]*, N. 8, ISSN 2317-5974. Brasil. Fonte: <http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/simposio/article/view/2025>
- Effting, C. (2015). Apresentação: Propriedades do concreto cresco e endurecido. *Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Disciplina: Materiais de Construção II. Aulas 2 e 3*. Joinville, SC, Brasil. Acesso em 20 de Outubro de 2019, disponível em http://www.udc.edu.br/libwww/udc/uploads/uploadsMateriais/16042019143242AULA%20TE%20C3%93RICA%20MATERIAIS%20DE%20CONSTRU%20C3%87%20C3%83O%20II%20_NOTURNO_UDC_CARMEANE_PROP_FRES_END_N%20C2%BA%2006.pdf
- Ferreira, R. (201-). Apresetação: Concreto nas primeiras idades. *Potifícia Universidade Católica (PUC)*. Goiás, Goiania, Brasil. Fonte: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/puc_maco2_09_concreto-fresco.pdf
- Guignone, G. C. (2017). *Desempenho de Concretos Com a Utilização de Resíduos da Lapidação do Vidro Como Substitutos Parciais ao Cimento*. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Vitória. Acesso em 12 de Setembro de 2019, disponível em http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_11406_Guilherme%20Cunha20180522-110439.pdf
- Helene, P., & Terzian, P. (1992). *Manual de Dosagem e Controle do Concreto* (1ª ed.). São Paulo: Pini; Brasília/DF: SENAI.

- IBGE. (2010). Fonte: Censo de 2010: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/panorama>
- Mendes, J. C. (s.d.). Apresentação: Materiais de Construção Civil I - Agregados. *Faculdade Santa Rita (FASAR). Disciplina: Materiais de Construção Civil I*. Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil.
- Neville, A. M. (2016). *Propriedades do Concreto* (5ª ed.). (R. A. Cremonini, Trad.) Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Bookmann.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (junho de 2013). *Tecnologia do Concreto* (2ª Ed. ed.). (R. A. Cremonini, Trad.) Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Bookman.
- O Vidroplano. (maio de 2016). O que fazer com sua sucata? (C. Araújo, Ed.) *Revista O Vidroplano*(521), 46-50p. Acesso em 23 de Setembro de 2019, disponível em <https://pdf.magtab.com/leitor/136/edicao/15937>
- Pacheco, A. A. (2015). *Efeito da adição de nanosilica na trabalhabilidade, resistência e microestrutura do concreto convencional*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), UFAC, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Rio Branco.
- Pedroso, F. L. (2009). Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. *Revista: Concreto & Construções*, Nº 53, 80p.
- Penacho, P. M. (2012). *Desempenho de argamassas com incorporação de resíduos finos de vidro: Reciclagem de agregados (RCD) e reação álcali-silica (RAS)*. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico (IFT), Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Lisboa. Acesso em 29 de Setembro de 2019, disponível em [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144564002/Dissertacao%20de%20Mestrado_Penacho_\(26-09-2012\).pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395144564002/Dissertacao%20de%20Mestrado_Penacho_(26-09-2012).pdf)
- Rosa, S. E., Cosenza, J. P., & Barroso, D. V. (Setembro de 2007). Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil. (*nº 26*), 38p. 101-138p. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: BNDES Setorial. Acesso em 09 de Setembro de 2019, disponível em https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2666/1/BS%2026%20Considera%C3%A7%C3%B5es%20sobre%20a%20ind%C3%BAstria%20do%20vidro_P.pdf
- Sabbag, A. F. (17 de outubro de 2003). *Verificação da existência de reação álcali-agregado no concreto da UHE de Mascarenhas*. Universidade Federal do Paraná, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Curitiba/PN. Acesso em 12 de dezembro de 2020, disponível em <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/2144/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20VERIFICA%C3%87%C3%83O%20DA%20EXIST%C3%84NCIA%20DE%20REA%C3%87%C3%83O%20%C3%81LCALI-AGREGADO%20NO%20CONCRETO%20DA%20UHE%20DE%20MASCARENHAS%20-ANDE.pdf?sequence=1>
- Santos, A. (29 de Setembro de 2015). Uso de vidro moído como agregado limita o concreto. *por Cimentos Itambé*. Acesso em 29 de Setembro de 2019, disponível em <https://www.cimentoitambe.com.br/vidro-moido-como-agregado/>
- Santos, D. P. (2015). *Estudo sobre a utilização de cinza da casca da castanha do Brasil como adições em traços de concreto*. Dissertação de Mestrado, UFAC, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para Amazônia - CITA, Rio Branco.
- Santos, D. P. (2016). *Influência do resíduo de vidro nas propriedades de uma argamassa colante*. Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Dissertação de

- Mestrado em Engenharia Civil, Campos do Goytacazes/RJ. Acesso em 29 de Setembro de 2019, disponível em <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/Disserta%C3%A7%C3%B5es-de-Mestrado-2016-DIOGO-PEREIRA-DOS-SANTOS.pdf>
- Silva, M. M. (2018). *Composição Simples de Agregados Miúdos Naturais de Cruzeiro do Sul/AC*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), UFAC, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Rio Branco.
- Ticianelli, T. R. (2018). *Incorporação de vidro em substituição ao agregado miúdo (areia) em argamassas*. Faculdade de Rondônia - FARO, Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil, Porto Velho/RO. Acesso em 12 de agosto de 2019, disponível em https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjsgbX72KrqAhXZIbkGHT_HATMQFjAAegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Fprsrecicladora.com.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F07%2F88126abfb707f00b015fb02c19706f09.pdf&u sg=AOvVaw2XTe
- Trentin, P. O., Manica, J., Vanzetto, S. C., Marangoni, B., & Zaleski, A. (03 de Setembro de 2020). Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná – PPGEC/UTFPR*. Pato Branco, Paraná, Brasil. Fonte: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?format=pdf&lang=pt>
- Tutikian, B. F., & Helene, P. (2011). Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. Em G. C. Isaia, & G. C. Isaia (Ed.), *Concreto: Ciência e Tecnologia* (1ª ed., Vol. 1, p. 1968). São Paulo, Brasil: IBRACON. Acesso em 16 de outubro de 2019, disponível em <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc56.pdf>

APÊNDICES

APÊNDICES - AGREGADOS MIÚDOS

APÊNDICE A										
Interessado						Registro				
Procedência						Material	Areia do rio Acre			
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 1 e 2									
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO										
DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DE AGREGADO MIÚDO NBR 6457										
Massa total da amostra de areia seca	5.000,00 g					h = Umidade				
Massa do recipiente	2.695,00 g					Vh = Volume da areia úmida				
Volume do recipiente	3.000,00 cm³					Vs = Volume da areia seca				
Volume das cápsulas	50,00 cm³					Ys = Massa unitária da areia seca				
						Yh = Massa unitária da areia úmida				
Umidade (h%) (ABNT)	0	0,5	1	2	3	4	5	7	9	12
Massa da água adicionada (g)	0	25,00	50,00	100,00	150,00	200,00	250,00			
Massa da água adicionada por etapa (g)	0	25,00	25,00	50,00	50,00	50,00	50,00			
Massa do recipiente + amostra (g)	6737,0	6316,8	6044,2	5837,4	5757,5	5818,6	6016,0			
Massa da amostra (g)	4042,0	3621,8	3349,2	3142,4	3062,5	3123,6	3321,0			
Massa unitária (g/cm³)	1,347	1,207	1,116	1,047	1,021	1,041	1,107			
Número da cápsula	03	06	07	13	14	15	19			
Massa da cápsula (g)	110,43	110,50	110,32	110,47	110,51	110,48	110,44			
Massa inicial (mi) + cápsula	159,48	157,80	160,22	161,23	161,79	162,36	160,00			
Massa após secagem (mf) + cápsula	159,48	157,57	159,72	160,22	160,30	160,38	157,70			
Umidade Real (%)	0,00	0,49	1,01	2,03	2,99	3,97	4,87			
Coeficiente de Inchamento (Vh/Vs)	1,00	1,12	1,22	1,31	1,36	1,35	1,28			

CURVA DE INCHAMENTO

RELÇÃO DOS COEFICIENTES DE INCHAMENTO (Vh / Vs)

UMIDADE REAL (%)

Coeficiente de Inchamento = $CI = \frac{V_h}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \times \frac{100 + h_{real}}{100}$	Umidade Crítica (%) = 2,25
	Coeficiente de Inchamento Médio = 1,345

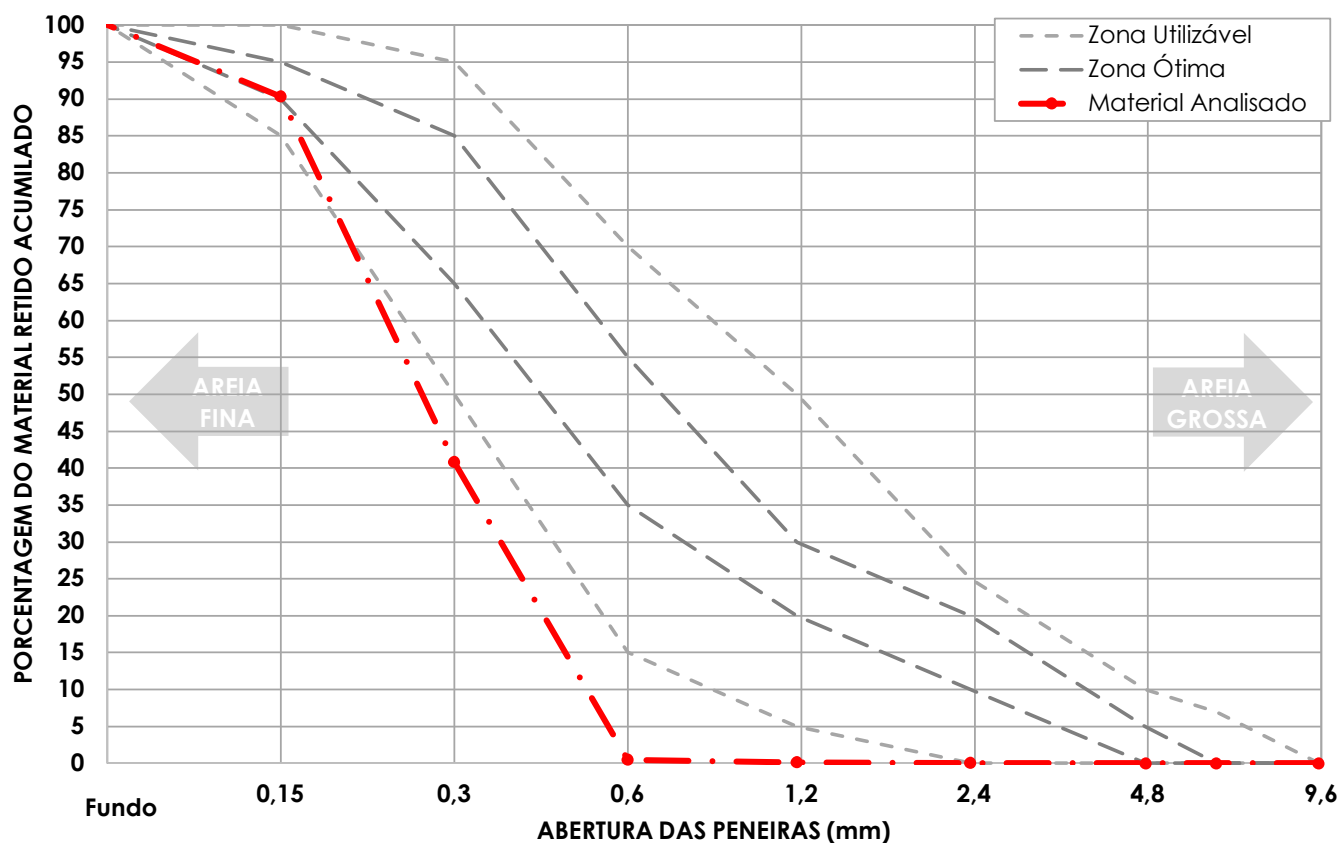
APÊNDICE B

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 1 e 2		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)								Amostra: 01		Data: 30/03/21	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona			
								Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
9,5	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
6,3	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	7
4,75	-	-	-	-	-	-	-	0	0	5	10
2,36	0,10	0,40	0,01	0,04	0,03	0,03	0,03	0	10	20	25
1,18	1,28	0,30	0,13	0,03	0,10	0,08	0,11	5	20	30	50
0,6	4,57	3,60	0,46	0,36	0,10	0,41	0,52	15	35	55	70
0,3	391,13	414,90	39,03	41,55	2,52	40,29	40,81	50	65	85	95
0,15	487,91	502,40	48,69	50,32	1,63	49,51	90,31	85	90	95	100
Fundo	117,15	76,90	11,69	7,70	3,99	9,70	100,01	100	100	100	100
Total	1.002,1	998,5	Módulo de Finura = 1,32					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.009,2	1.006,6									
%	0.70%	0.80%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

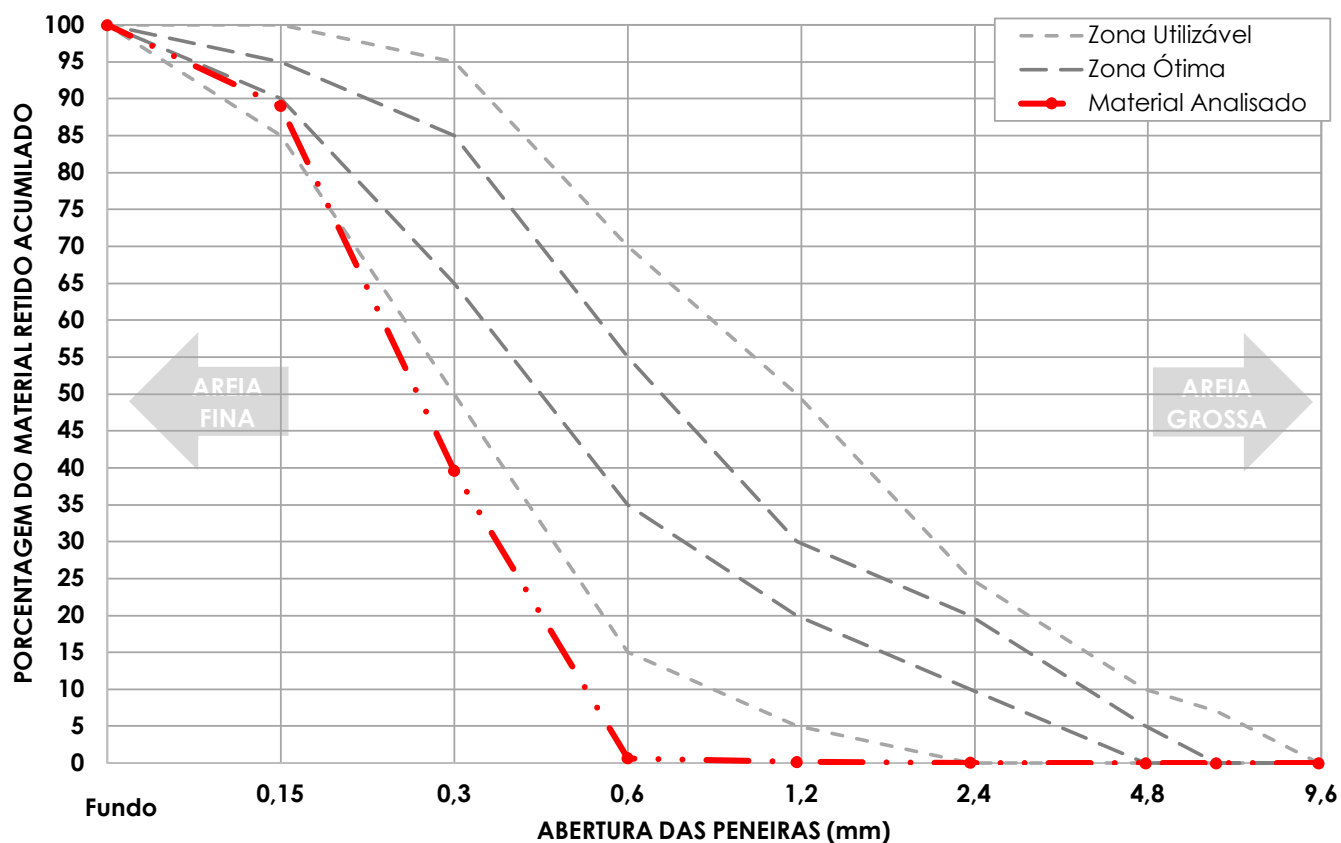
APÊNDICE B

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 1 e 2		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)								Amostra: 02	Data: 30/03/21			
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores		
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona				
								Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima	
9,5	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	
6,3	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	7	
4,75	-	-	-	-	-	-	-	0	0	5	10	
2,36	0,35	0,54	0,03	0,05	0,02	0,04	0,04	0	10	20	25	
1,18	2,15	0,46	0,21	0,05	0,16	0,13	0,17	5	20	30	50	
0,6	5,13	4,23	0,51	0,42	0,09	0,47	0,64	15	35	55	70	
0,3	369,61	410,34	36,81	41,05	4,24	38,93	39,57	50	65	85	95	
0,15	503,58	487,15	50,15	48,73	1,42	49,44	89,01	85	90	95	100	
Fundo	123,27	96,93	12,28	9,70	2,58	10,99	100,00	100	100	100	100	
Total	1.004,1	999,7	Módulo de Finura = 1,29					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18				
Inicial	1.010,4	1.006,7										
%	0,62%	0,70%										

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

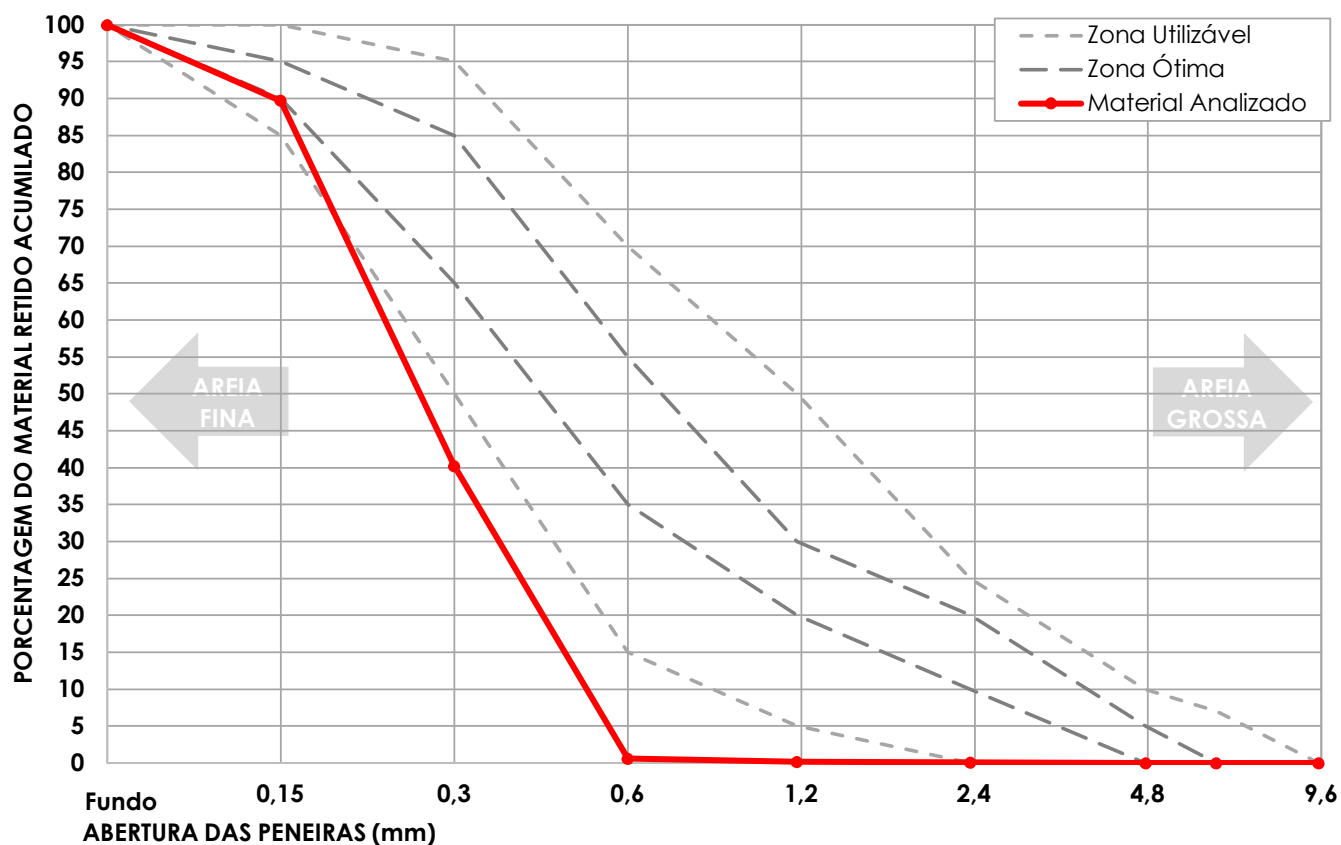
APÊNDICE B

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 1 e 2		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)								Amostra: Média		Data: 30/03/21	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona			
								Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
9,5	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
6,3	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	7
4,75	-	-	-	-	-	-	-	0	0	5	10
2,36	-	-	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0	10	20	25
1,18	-	-	0,08	0,13	0,05	0,11	0,14	5	20	30	50
0,6	-	-	0,41	0,47	0,05	0,44	0,58	15	35	55	70
0,3	-	-	40,29	38,93	1,36	39,61	40,19	50	65	85	95
0,15	-	-	49,51	49,44	0,06	49,47	89,66	85	90	95	100
Fundo	-	-	9,70	10,99	1,30	10,34	100,00	100	100	100	100
Total	-	-	Módulo de Finura = 1,31					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	-	-									
%	-	-									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE B

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre
Observações	Material utilizado para as betonadas N° 1 e 2		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO

2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916) Data: 06/04/21

Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	494,31	494,8	495,01	492,64	495,37	495,5	494,61
massa sss (g);	mB	500,31	500,35	500,49	500,14	500,49	500,71	500,42
absorção de água (%)	Abs	1,21	1,12	1,11	1,52	1,03	1,05	1,17

3) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E DENSIDADE (NBR 16916) Data: 06/04/21

Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	494,31	494,8	495,01	492,64	495,37	495,5	494,61
massa sss (g)	mB	500,31	500,35	500,49	500,14	500,49	500,71	500,42
massa sss + do frasco (g)	mC	1041,68	1039,29	1040,09	1042,34	1041,05	1039,6	1040,68
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1346,54	1344,63	1344,98	1347,53	1345,97	1345,154	1345,8
volume frasco calibrado (cm³)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
volume de água adicionada ao frasco (cm³)	Va	305,32	305,80	305,35	305,65	305,38	306,01	305,58
dens. água na temp. do banho (g/cm³)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,539	2,548	2,543	2,535	2,545	2,554	2,544
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,570	2,576	2,571	2,573	2,572	2,581	2,574
absorção de água (%)	Abs	1,21	1,12	1,11	1,52	1,03	1,05	1,17

4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA E ÍNDICE DE VAZIOS (NBR 16972) Método C Data: 02/04/21

Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA
massa do agregado + recipiente (g)	mar	6775,37	6780,14	6784,51	6799,24	6834,03	6792,48	6794,30
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0
massa do agregado seco (g)	m	4086,37	4091,14	4095,51	4110,24	4145,03	4103,48	4105,30
volume do recipiente (cm³)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0
massa unitária do agregado (g/cm³)	Pap	1,333	1,335	1,336	1,341	1,352	1,339	1,339
massa unitária sss (g/cm³)	Pas	1,349	1,350	1,352	1,357	1,368	1,354	1,355
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	47,412	47,533	47,377	47,016	46,788	47,507	47,272

5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µm POR LAVAGEM (NBR 16973) Data: 30/03/21

Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA
massa inicial da amostra seca (g)	mi	500,39	302,5	302,7	301,46			351,76
massa da amostra seca após a lavagem (g)	mf	484,71	293,71	293,22	292,34			341,00
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	3,13	2,91	3,13	3,03			3,05

OBS:

RESUMO DE RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

Absorção de água (%)	Massa específica (g/cm³)			Índice de Vazios (%)	Material pulver. (%)	Impureza orgânica em p.p.m	Reação Álcis Agregado	Granulometria		Inchamento	
	Seca (Real)	Sat. Sup. Seca (SSS)	Unitária (Aparente)					Módulo Finura	Diâmetro Máximo	Médio	Umidade Crítica (%)
1,17	2,54	2,574	1,339	47,27	3,05	< 300	-	1,32	1,18	1,34	2,25
NBR 16916			NBR 16972		NBR 16973	NBR NM 49	NBR 15577	NBR NM 248		NBR 6467	

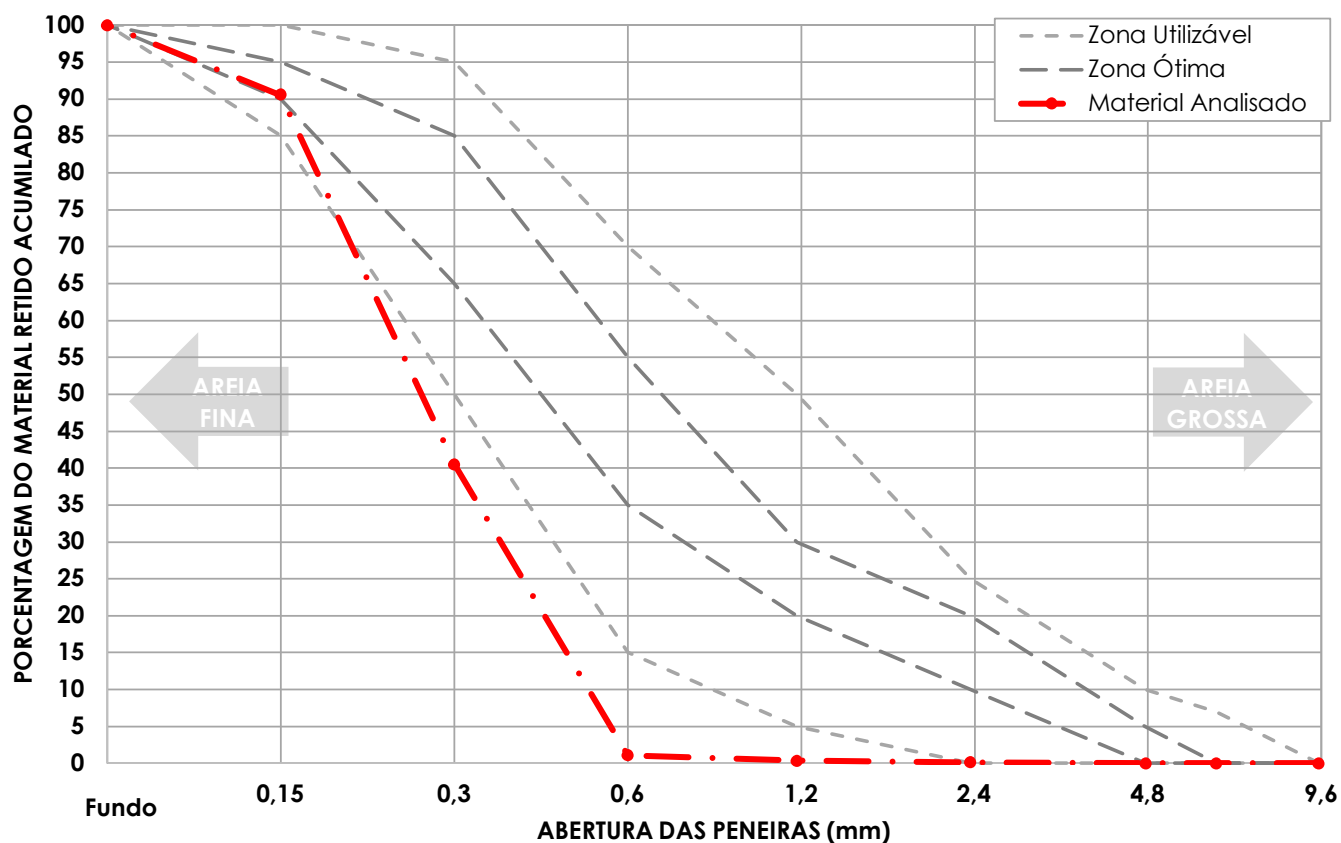
APÊNDICE C

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 7		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)								Amostra: 01		Data: 30/03/21	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona			
								Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
9,5	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
6,3	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	7
4,75	-	-	-	-	-	-	-	0	0	5	10
2,36	0,98	1,33	0,10	0,13	0,03	0,12	0,12	0	10	20	25
1,18	2,25	2,51	0,22	0,25	0,03	0,24	0,35	5	20	30	50
0,6	6,77	7,55	0,68	0,75	0,07	0,72	1,07	15	35	55	70
0,3	384,40	405,70	38,35	40,53	2,18	39,44	40,51	50	65	85	95
0,15	498,45	503,58	49,72	50,30	0,58	50,01	90,52	85	90	95	100
Fundo	109,57	80,41	10,93	8,03	2,90	9,48	100,00	100	100	100	100
Total	1.002,4	1.001,1	Módulo de Finura = 1,33					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.010,3	1.007,6									
%	0.78%	0.65%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

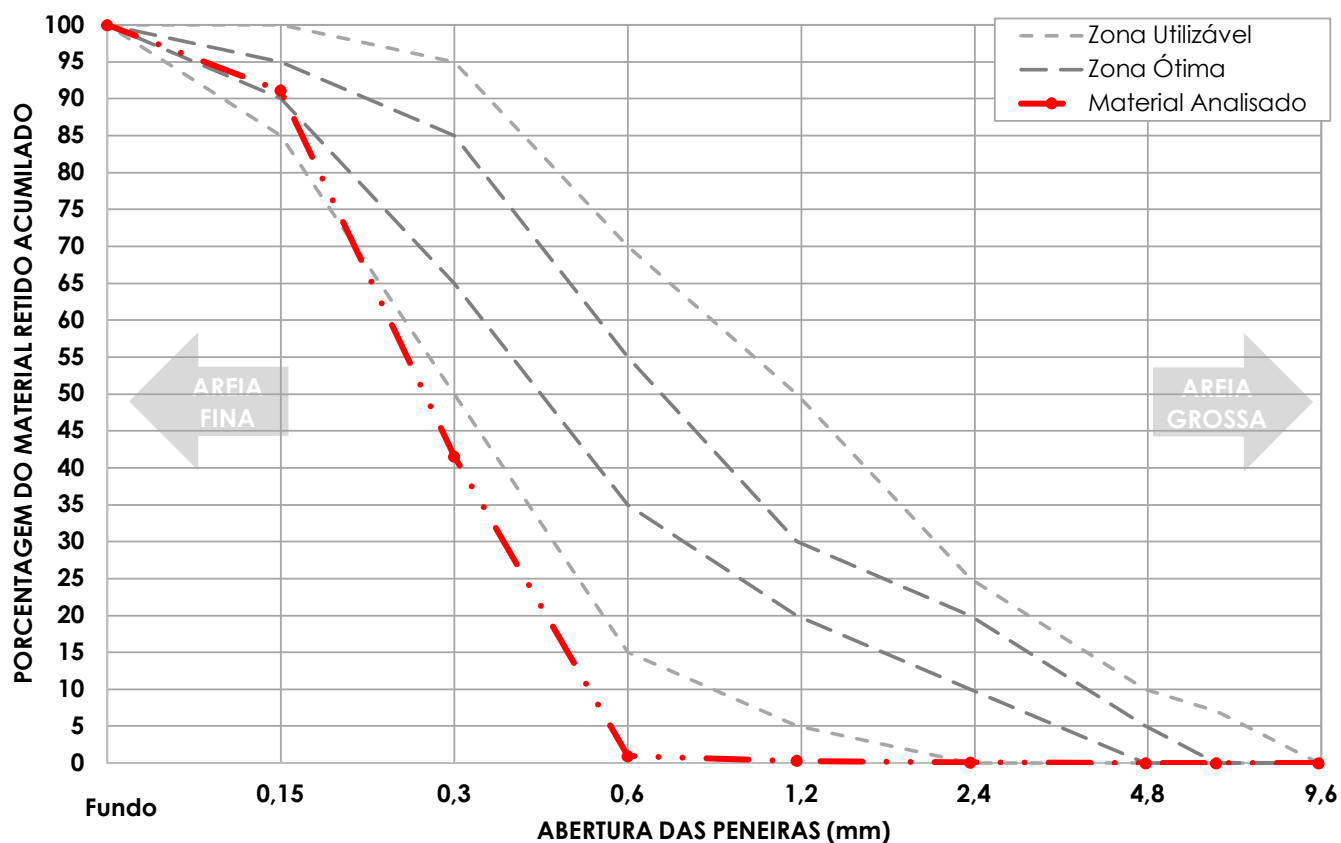
APÊNDICE C

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 7		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)								Amostra: 02	Data: 30/03/21			
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores		
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona				
								Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima	
9,5	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	
6,3	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	7	
4,75	-	-	-	-	-	-	-	0	0	5	10	
2,36	0,52	1,27	0,05	0,13	0,08	0,09	0,09	0	10	20	25	
1,18	1,77	2,15	0,18	0,21	0,03	0,20	0,29	5	20	30	50	
0,6	5,84	7,50	0,58	0,75	0,17	0,67	0,95	15	35	55	70	
0,3	404,12	408,98	40,46	40,74	0,28	40,60	41,55	50	65	85	95	
0,15	487,98	503,73	48,86	50,18	1,32	49,52	91,07	85	90	95	100	
Fundo	98,60	80,14	9,87	7,98	1,89	8,93	100,00	100	100	100	100	
Total	998,8	1.003,8	Módulo de Finura = 1,34					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18				
Inicial	1.007,1	1.011,2										
%	0,82%	0,73%										

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

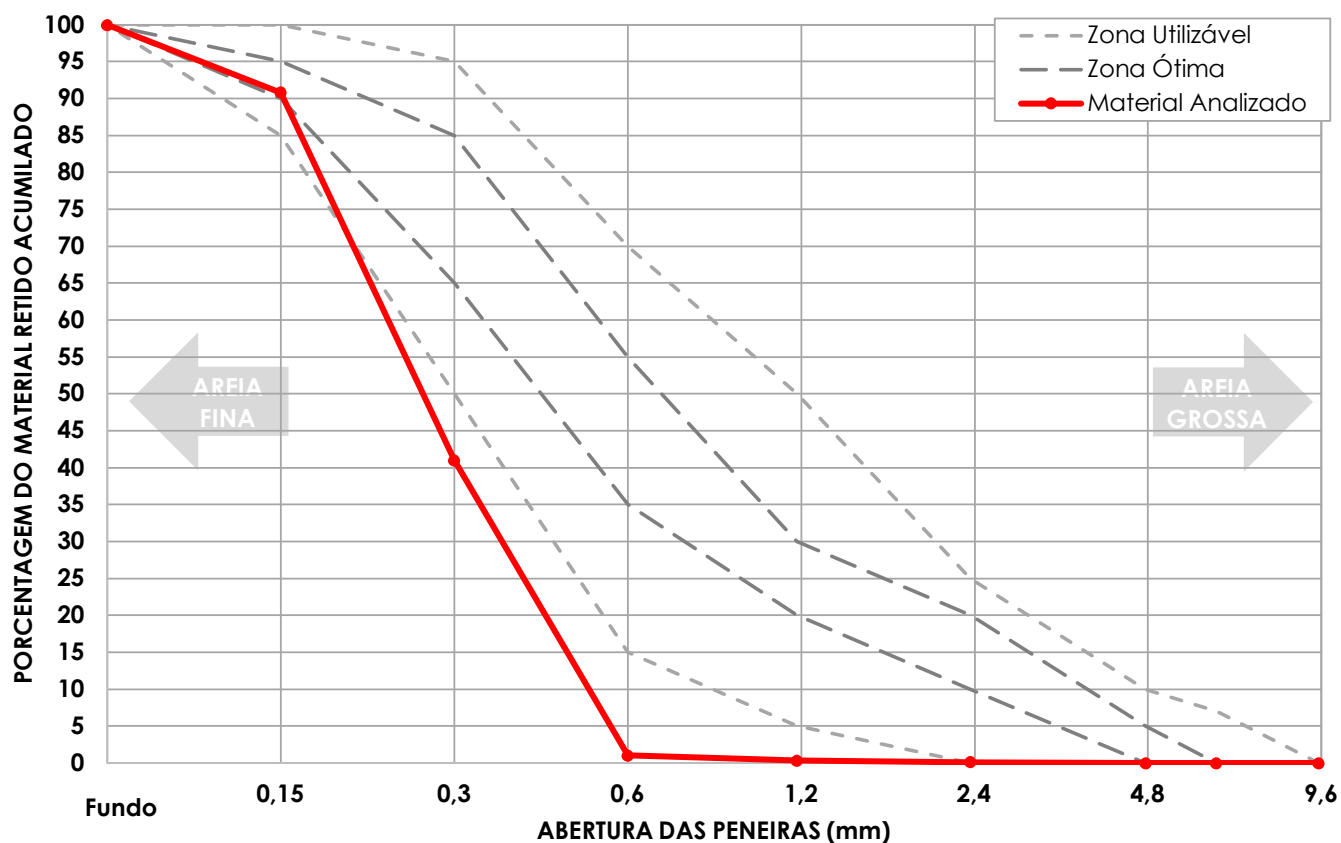
APÊNDICE C

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 7		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)								Amostra: Média	Data: 30/03/21			
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores		
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona				
								Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima	
9,5	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	
6,3	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	7	
4,75	-	-	-	-	-	-	-	0	0	5	10	
2,36	-	-	0,12	0,09	0,03	0,10	0,10	0	10	20	25	
1,18	-	-	0,24	0,20	0,04	0,22	0,32	5	20	30	50	
0,6	-	-	0,72	0,67	0,05	0,69	1,01	15	35	55	70	
0,3	-	-	39,44	40,60	1,16	40,02	41,03	50	65	85	95	
0,15	-	-	50,01	49,52	0,49	49,77	90,79	85	90	95	100	
Fundo	-	-	9,48	8,93	0,56	9,20	100,00	100	100	100	100	
Total	-	-	Módulo de Finura = 1,33					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18				
Inicial	-	-										
%	-	-										

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE C

Interessado							Registro				
Procedência							Material	Areia do rio Acre			
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 7										
ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO											
2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916)							Data:	06/04/21			
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,02	495,33	495,26	493,35	495,75	495,7	495,07			
massa sss (g);	mB	501,33	501,1	500,9	500,22	501,22	501,42	501,03			
absorção de água (%)	Abs	1,27	1,16	1,14	1,39	1,10	1,15	1,20			
3) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (NBR 16916)							Data:	06/04/21			
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,02	495,33	495,26	493,35	495,75	495,7	495,07			
massa sss (g)	mB	501,33	501,1	500,9	500,22	501,22	501,42	501,03			
massa sss + do frasco (g)	mC	1040,3	1040,72	1041,03	1042,14	1039,84	1040,06	1040,68			
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1344,46	1344,79	1345,93	1346,56	1343,57	1344,95	1345,04			
volume frasco calibrado (cm3)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0			
volume de água adicionada ao frasco (cm3)	Va	304,62	304,53	305,36	304,88	304,19	305,35	304,82			
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985			
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,534	2,534	2,544	2,528	2,532	2,547	2,536			
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,566	2,564	2,573	2,564	2,560	2,576	2,567			
4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA E ÍNDICE DE VAZIOS (NBR 16972)					Método C		Data:	02/04/21			
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa do agregado + recipiente (g)	mar	6773,38	6814,25	6779,96	6764,70	6760,22	6755,41	6774,65			
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0			
massa do agregado seco (g)	m	4084,38	4125,25	4090,96	4075,70	4071,22	4066,41	4085,65			
volume do recipiente (cm3)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0			
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,333	1,346	1,335	1,330	1,328	1,327	1,333			
massa unitária sss (g/cm3)	Pas	1,349	1,362	1,351	1,346	1,344	1,343	1,349			
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	47,324	46,806	47,465	47,328	47,456	47,824	47,367			
5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µM POR LAVAGEM (NBR 16973)							Data:	30/03/21			
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa inicial da amostra seca (g)	mi	300,85	300,93	301,64	300,88			301,08			
massa da amostra seca após a lavagem(g)	mf	291,95	291,43	292,52	291,92			291,96			
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	2,96	3,16	3,02	2,98			3,03			
OBS:											
RESUMO DE RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO											
Absorção de água (%)	Massa específica (g/cm3)			Índice de Vazios (%)	Material pulver. (%)	Impureza orgânica em p.p.m	Reação Alcalis Agregado	Granulometria		Inchamento	
	Seca (Real)	Sat. Sup. Seca (SSS)	Unitária (Aparente)					Módulo Finura	Diâmetro Máximo	Médio	Umidade Crítica (%)
1,2	2,54	2,567	1,333	47,37	3,03	< 300	-	1,33	1,18	1,34	225,00%
NBR 16916			NBR 16972		NBR 16973	NBR NM 49	NBR 15577	NBR NM 248		NBR 6467	

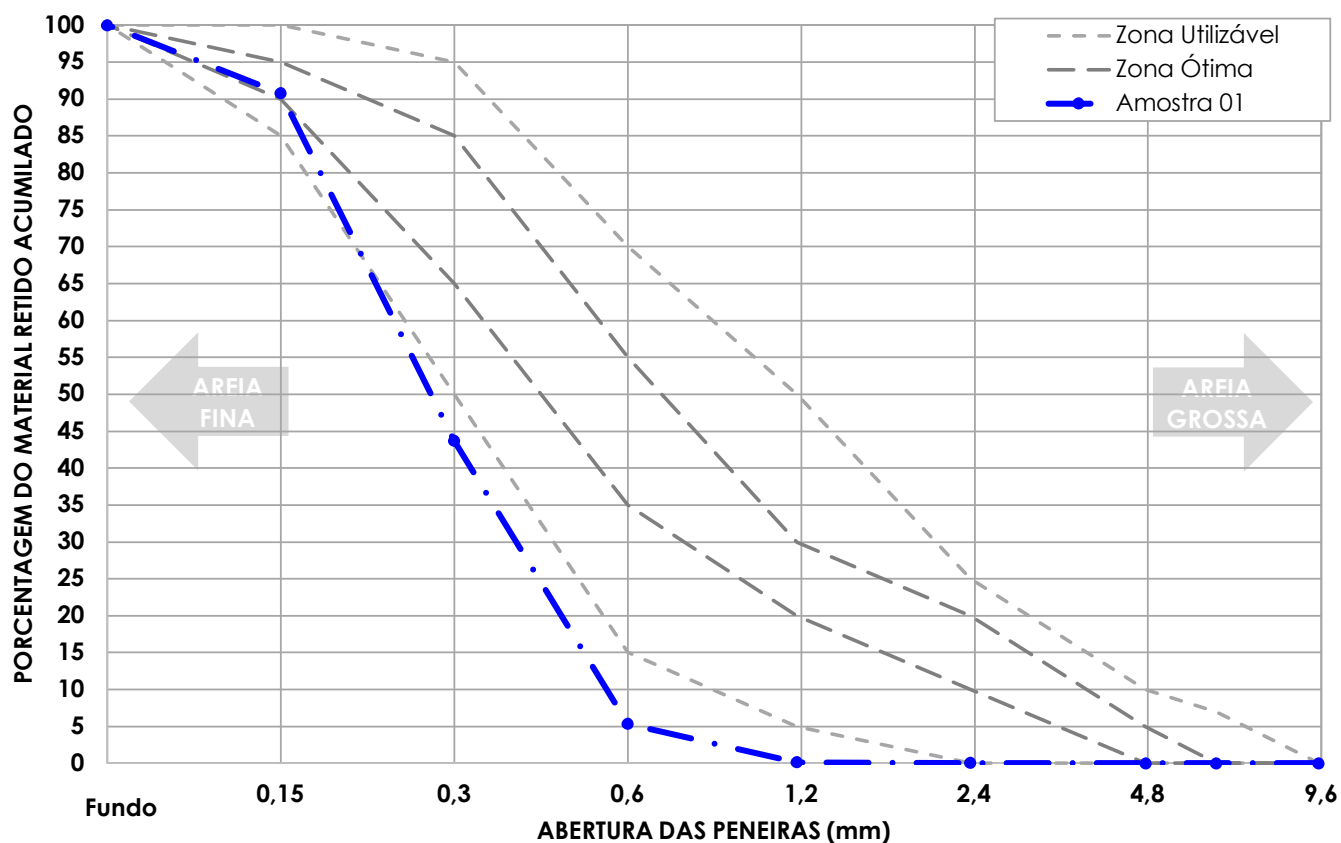
APÊNDICE D

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 5% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 3		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data: 15/04/21	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,8	0,1	0,08	0,01	0,07	0,05	0,05	0	10	20	25
1,18	1,2	1,1	0,12	0,11	0,01	0,12	0,16	5	20	30	50
0,6	52,6	51,6	5,25	5,16	0,09	5,21	5,37	15	35	55	70
0,3	372,4	394,6	37,13	39,48	2,35	38,31	43,67	50	65	85	95
0,15	464,3	478,0	46,29	47,83	1,54	47,06	90,73	85	90	95	100
Fundo	111,6	73,9	11,13	7,4	3,73	9,27	100,00	100	100	100	100
Total	1.003,0	999,3	Módulo de Finura = 1,40					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
1010,3	1.011,4	1.008,3									
%	0,83%	0,89%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

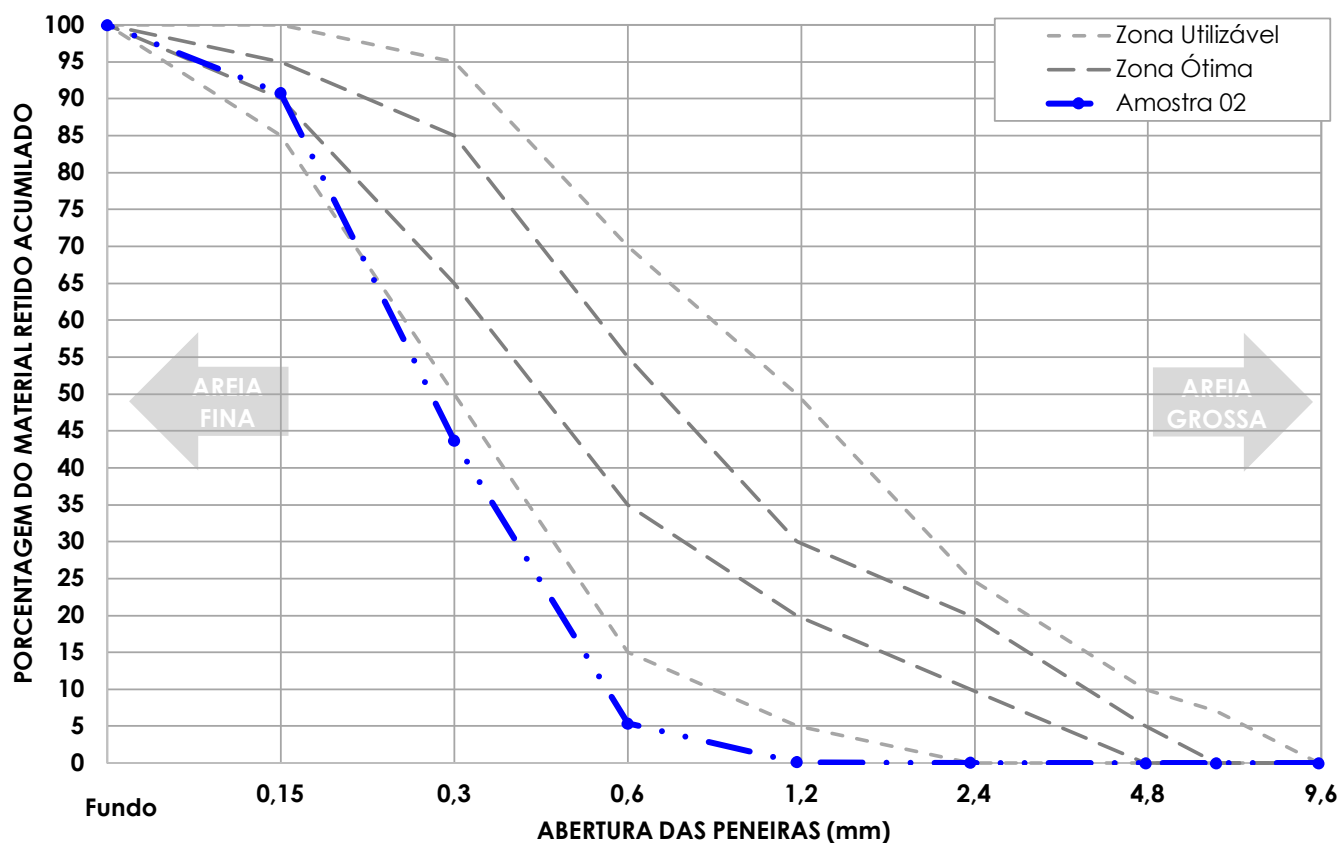
APÊNDICE D

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 5% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 3		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data: 15/04/21	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	5	10
2,36	0,4	0,3	0,04	0,03	0,01	0,04	0,04	0	10	20	25
1,18	1,4	0,7	0,14	0,07	0,07	0,11	0,14	5	20	30	50
0,6	52,4	52,3	5,23	5,23	0	5,23	5,37	15	35	55	70
0,3	371,7	394,5	37,1	39,47	2,37	38,29	43,66	50	65	85	95
0,15	464,3	477,6	46,34	47,78	1,44	47,06	90,72	85	90	95	100
Fundo	111,8	74,0	11,16	7,41	3,75	9,29	100,00	100	100	100	100
Total	1.001,9	999,5	Módulo de Finura = 1,40					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.010,6	1.009,2									
%	0,86%	0,96%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

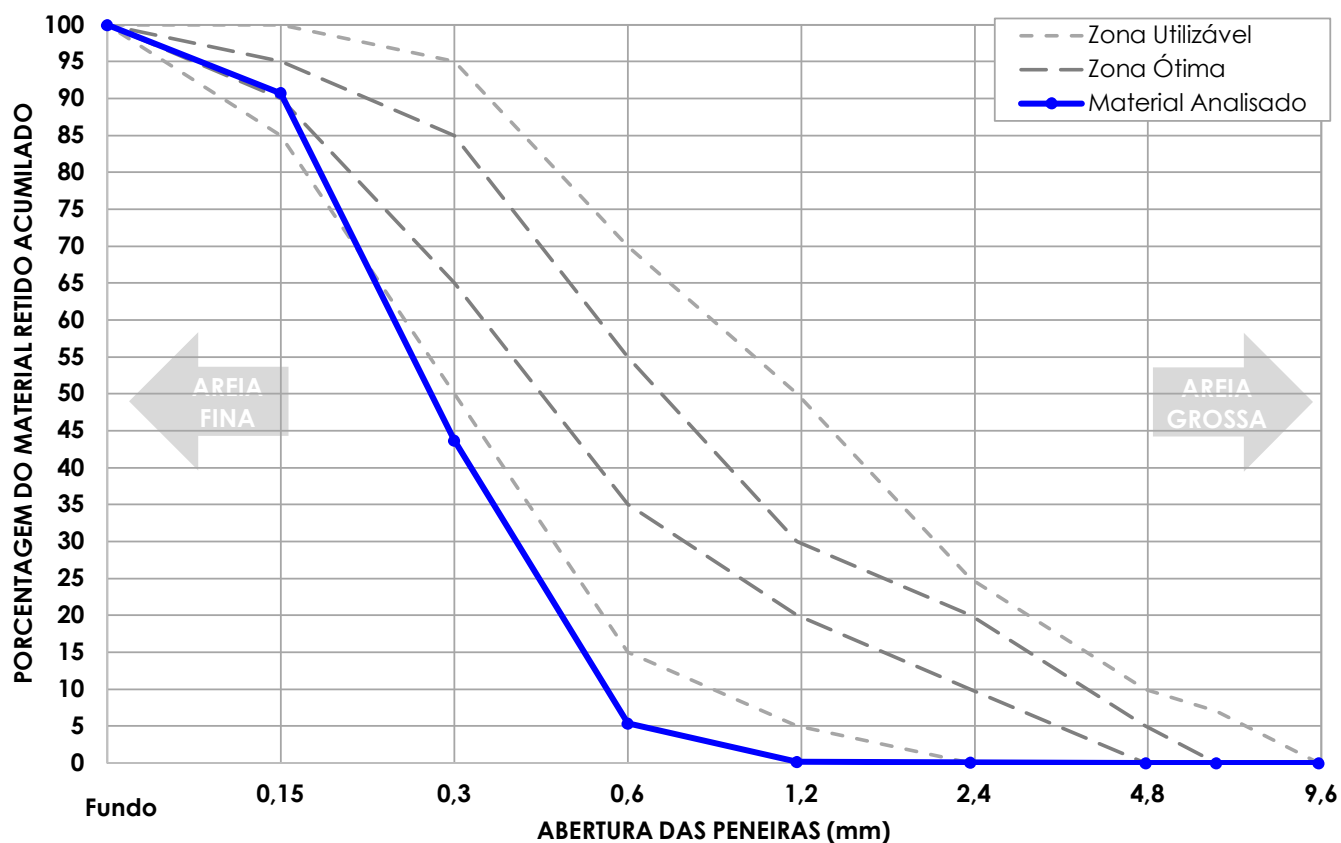
APÊNDICE D

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 5% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 3		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	15/04/21
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
6,3	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	7
4,75	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	5	10
2,36	-	-	0,05	0,04	0,01	0,04	0,04	0	10	20	25
1,18	-	-	0,12	0,11	0,01	0,11	0,15	5	20	30	50
0,6	-	-	5,21	5,23	0,03	5,22	5,37	15	35	55	70
0,3	-	-	38,31	38,29	0,02	38,30	43,66	50	65	85	95
0,15	-	-	47,06	47,06	0,00	47,06	90,72	85	90	95	100
Fundo	-	-	9,27	9,29	0,02	9,28	100,00	100	100	100	100
Total	-	-	Módulo de Finura = 1,40					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	-	-									
%	-	-									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

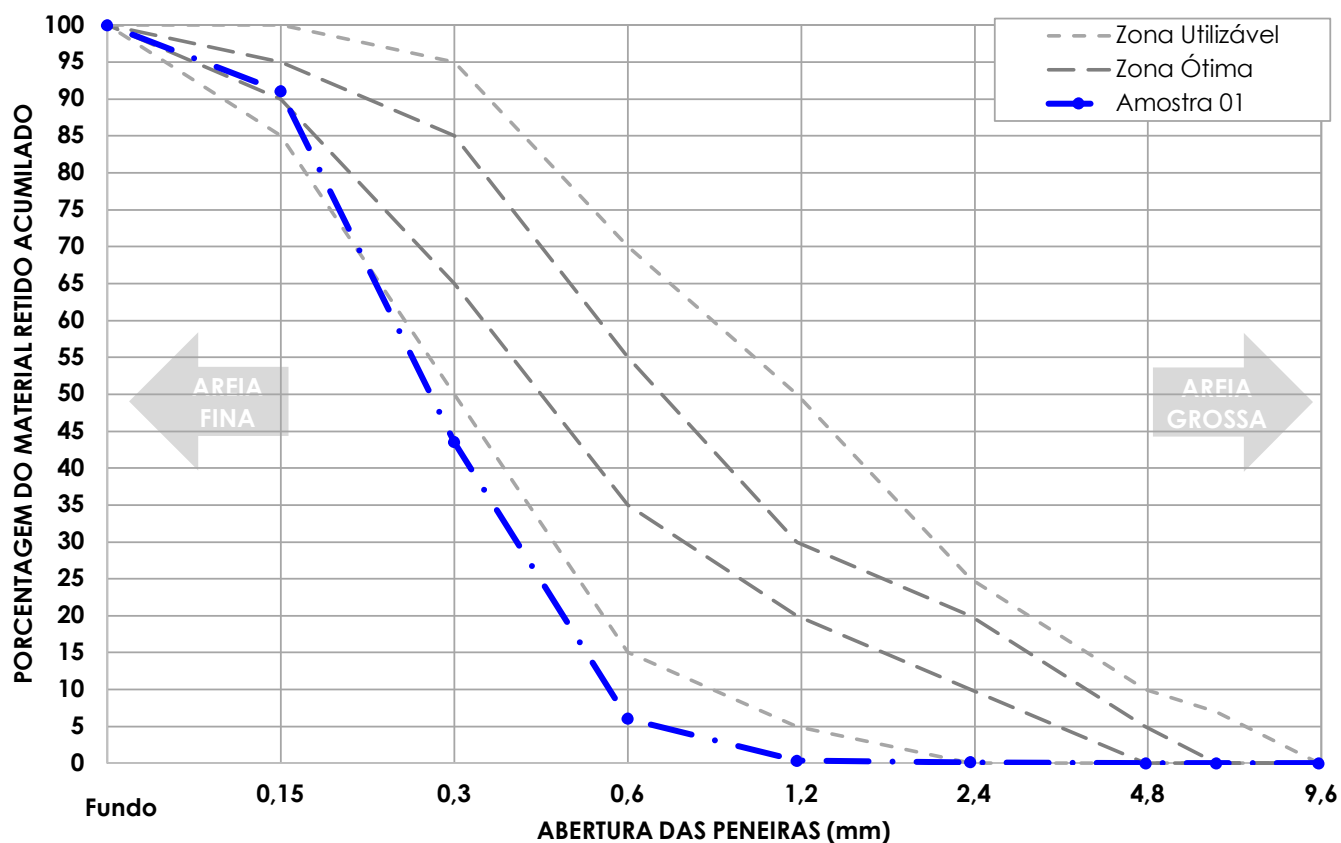
APÊNDICE E

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 5% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 8		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data: 15/04/21	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	1,7	1,2	0,17	0,12	0,05	0,15	0,15	0	10	20	25
1,18	2,4	1,7	0,23	0,17	0,06	0,20	0,35	5	20	30	50
0,6	56,7	57,0	5,64	5,72	0,08	5,68	6,03	15	35	55	70
0,3	366,0	384,7	36,39	38,55	2,16	37,47	43,50	50	65	85	95
0,15	474,5	477,5	47,17	47,85	0,68	47,51	91,01	85	90	95	100
Fundo	104,5	75,8	10,39	7,59	2,8	8,99	100,00	100	100	100	100
Total	1.005,9	997,9	Módulo de Finura = 1,41					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.012,8	1.006,4									
%	0,68%	0,84%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

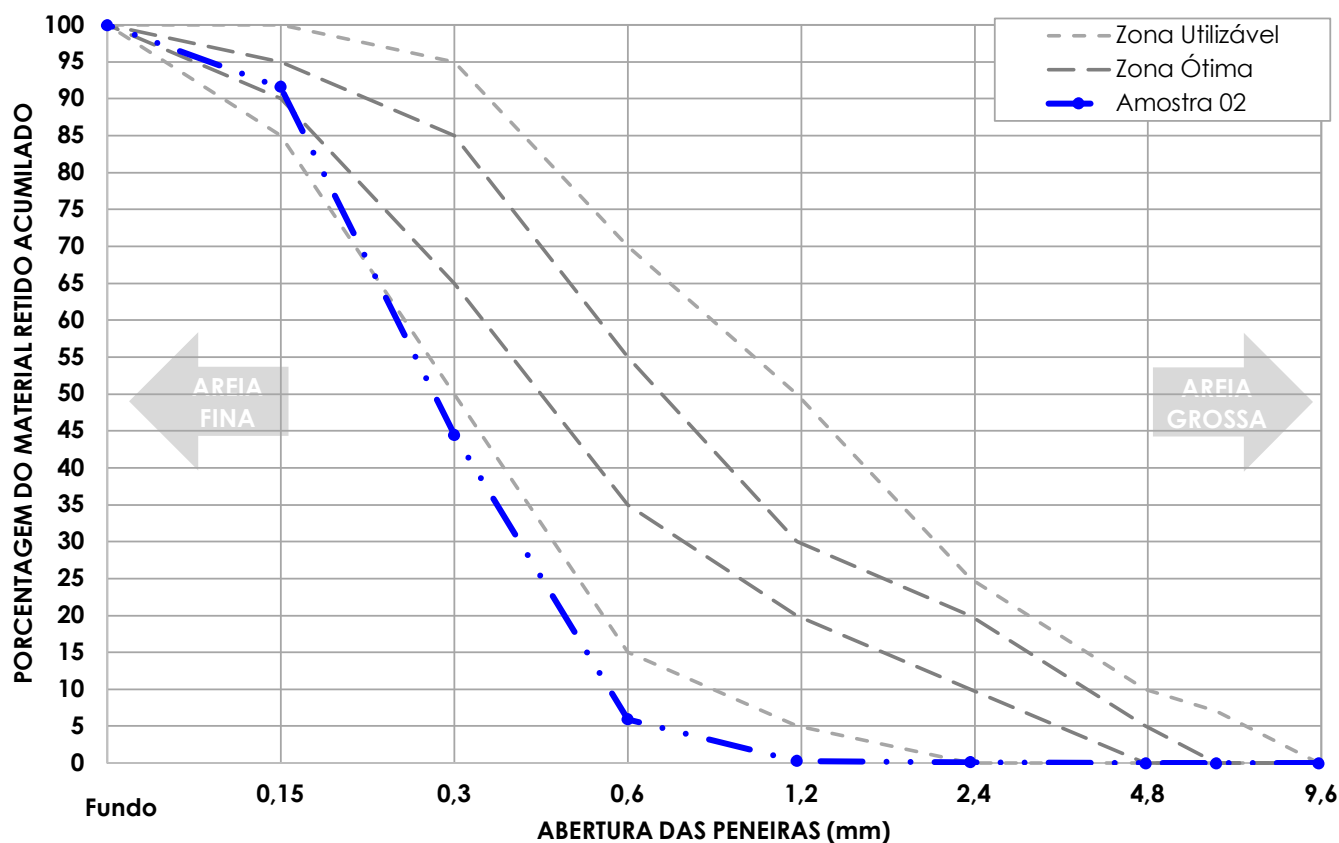
APÊNDICE E

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 5% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 8		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	15/04/21
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	5	10
2,36	1,3	0,8	0,13	0,08	0,05	0,11	0,11	0	10	20	25
1,18	2,0	1,5	0,2	0,15	0,05	0,18	0,28	5	20	30	50
0,6	56,2	56,7	5,61	5,67	0,06	5,64	5,92	15	35	55	70
0,3	384,4	387,7	38,35	38,76	0,41	38,56	44,48	50	65	85	95
0,15	464,3	478,2	46,33	47,82	1,49	47,08	91,55	85	90	95	100
Fundo	94,0	75,2	9,38	7,52	1,86	8,45	100,00	100	100	100	100
Total	1.002,1	1.000,1	Módulo de Finura = 1,42					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.010,8	1.008,3									
%	0,86%	0,81%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

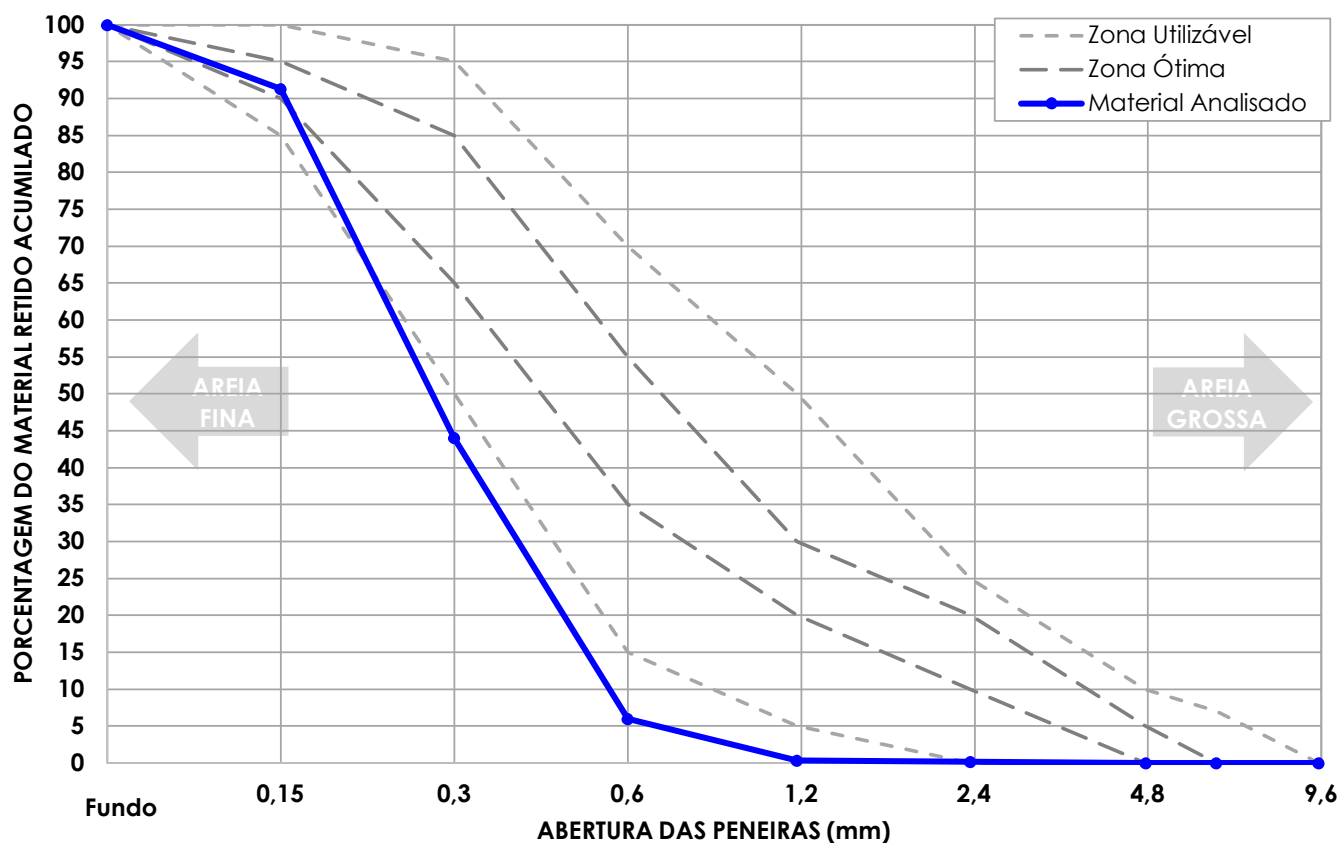
APÊNDICE E

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 5% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 8		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	15/04/21
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
6,3	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	7
4,75	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	5	10
2,36	-	-	0,15	0,11	0,04	0,13	0,13	0	10	20	25
1,18	-	-	0,20	0,18	0,03	0,19	0,31	5	20	30	50
0,6	-	-	5,68	5,64	0,04	5,66	5,97	15	35	55	70
0,3	-	-	37,47	38,56	1,09	38,01	43,99	50	65	85	95
0,15	-	-	47,51	47,08	0,44	47,29	91,28	85	90	95	100
Fundo	-	-	8,99	8,45	0,54	8,72	100,00	100	100	100	100
Total	-	-	Módulo de Finura = 1,42					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	-	-									
%	-	-									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE E

Interessado							Registro		
Procedência							Material	Areia do rio Acre com 5% de vidro	
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 8								
ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO									
2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916)							Data:	22/04/21	
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,11	495,59	495,73	496,05	494,97	496,12	495,60	
massa sss (g);	mB	500,92	501,17	501,14	500,93	501,4	501,82	501,23	
absorção de água (%)	Abs	1,17	1,13	1,09	0,98	1,30	1,15	1,14	
3) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (NBR 16916)							Data:	22/04/21	
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,11	495,59	495,73	496,05	494,97	496,12	495,6	
massa sss (g)	mB	500,92	501,17	501,14	500,93	501,40	501,82	501,23	
massa sss + do frasco (g)	mC	1040,04	1040,50	1041,43	1042,86	1039,58	1040,73	1040,86	
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1344,36	1343,01	1345,71	1345,77	1343,01	1344,12	1344,33	
volume frasco calibrado (cm3)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	
volume de água adicionada ao frasco (cm3)	Va	304,78	302,96	304,74	303,37	303,89	303,85	303,93	
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,536	2,515	2,539	2,523	2,524	2,529	2,528	
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,566	2,543	2,567	2,548	2,557	2,558	2,556	
4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (NBR 16972)					Método C		Data:	18/04/21	
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa do agregado + recipiente (g)	mar	6903,06	6944,64	6910,19	6895,14	6890,98	6886,23	6905,04	
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	
massa do agregado seco (g)	m	4214,06	4255,64	4221,19	4206,14	4201,98	4197,23	4216,04	
volume do recipiente (cm3)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,375	1,388	1,377	1,372	1,371	1,369	1,376	
massa unitária sss (g/cm3)	Pas	1,391	1,404	1,393	1,388	1,387	1,385	1,391	
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	45,707	44,714	45,672	45,521	45,600	45,777	45,498	
5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µM POR LAVAGEM (NBR 16973)							Data:	15/04/21	
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa inicial da amostra seca (g)	mi	300,44	300,02	301,21	300,74			300,60	
massa da amostra seca após a lavagem(g)	mf	291,95	291,9	292,48	291,21			291,89	
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	2,83	2,71	2,90	3,17			2,90	
OBS:									

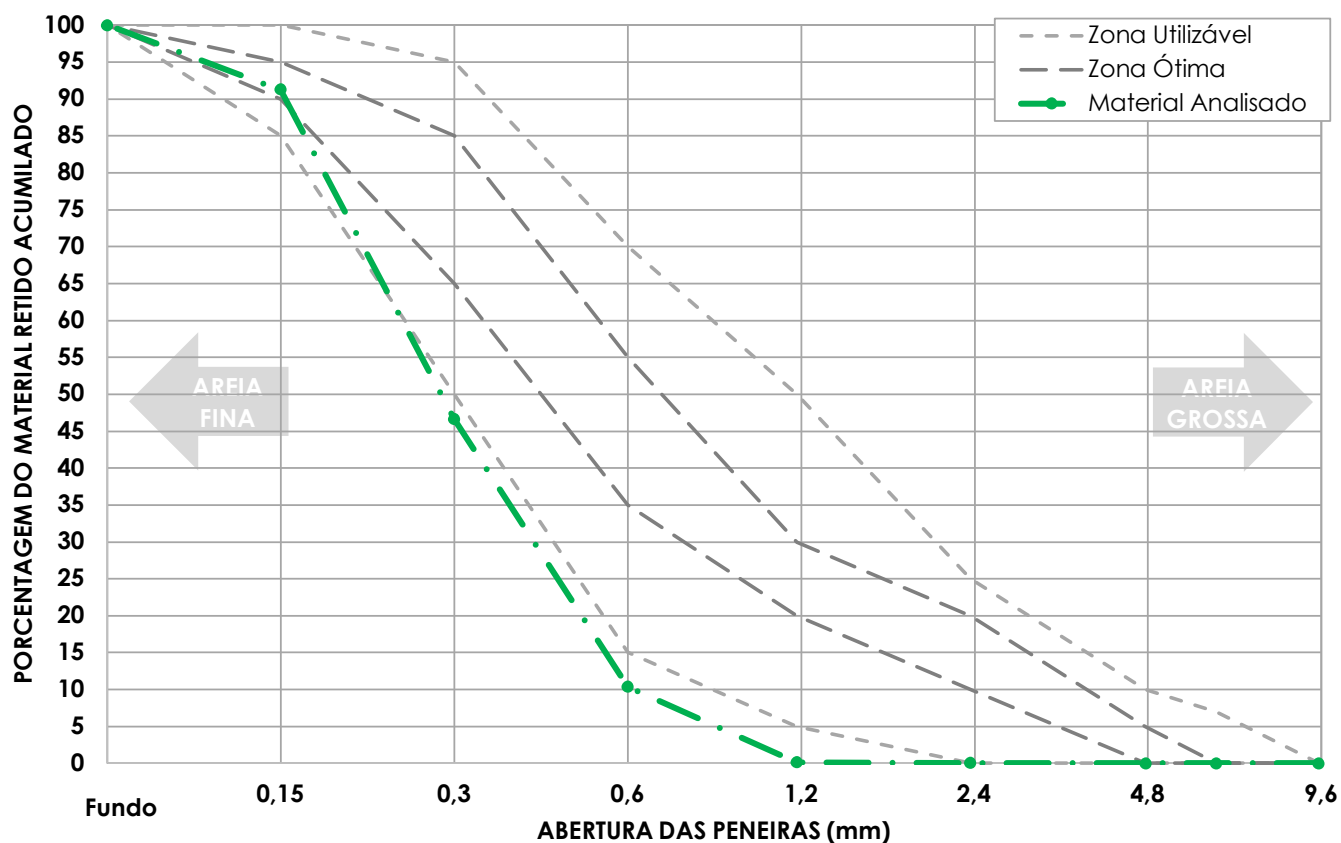
APÊNDICE F

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 10% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 4		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,2	0,2	0,02	0,02	0	0,02	0,02	0	10	20	25
1,18	1,4	0,5	0,14	0,05	0,08	0,1	0,12	5	20	30	50
0,6	102,5	102,0	10,23	10,20	0,03	10,22	10,34	15	35	55	70
0,3	352,3	374,4	35,16	37,46	2,3	36,31	46,65	50	65	85	95
0,15	439,6	452,3	43,87	45,25	1,38	44,56	91,21	85	90	95	100
Fundo	105,9	70,1	10,57	7,01	3,56	8,79	100,00	100	100	100	100
Total	1.001,8	999,6	Módulo de Finura = 1,48					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.008,7	1.007,3									
%	0,68%	0,77%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE F

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 10% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 4		

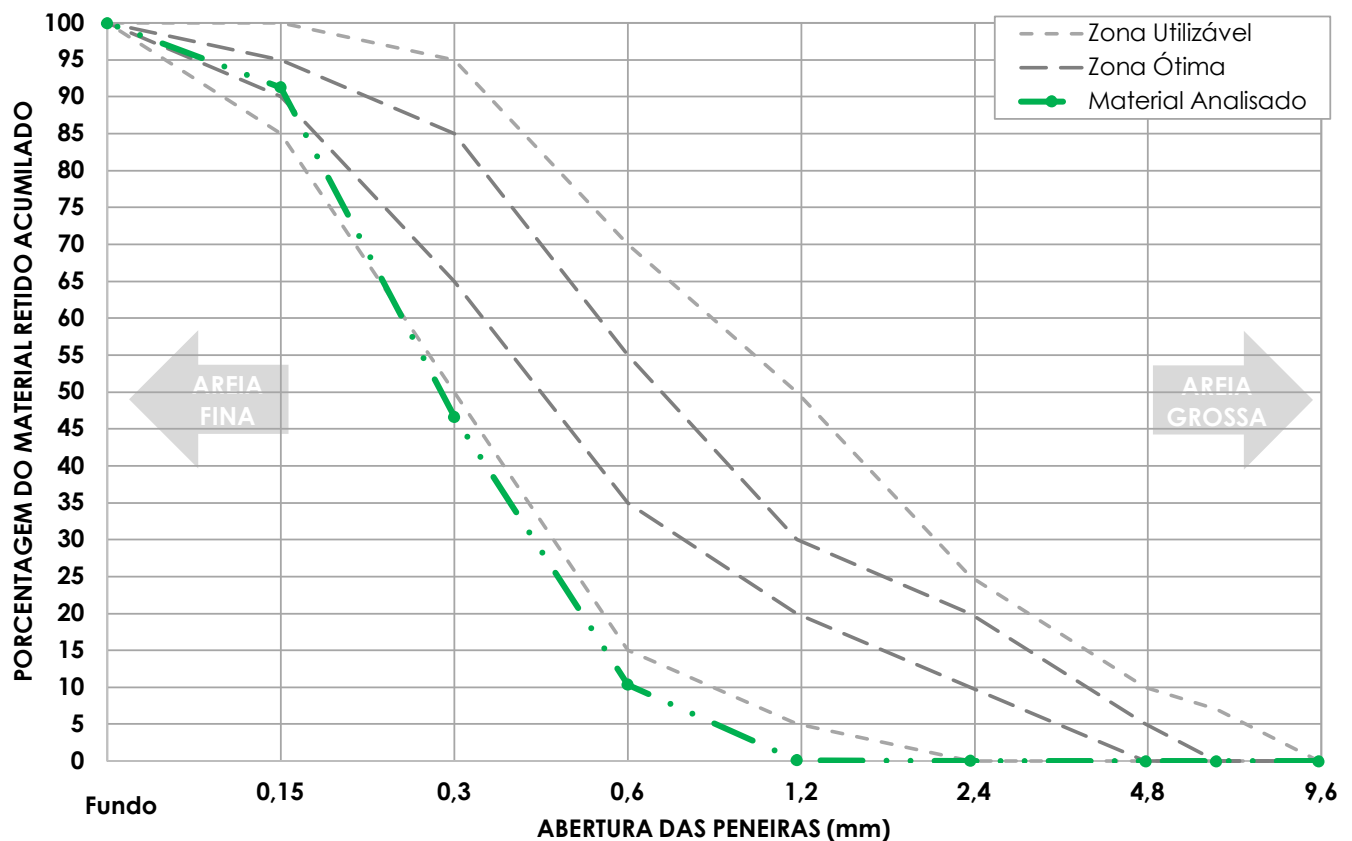
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,7	0,2	0,07	0,02	0,05	0,04	0,04	0	10	20	25
1,18	2,0	1,8	0,20	0,18	0,02	0,19	0,23	5	20	30	50
0,6	105,4	106,5	10,53	10,64	0,11	10,59	10,82	15	35	55	70
0,3	364,3	367,9	36,39	36,75	0,36	36,57	47,39	50	65	85	95
0,15	439,6	452,8	43,91	45,23	1,32	44,57	91,96	85	90	95	100
Fundo	89,1	71,9	8,90	7,18	1,72	8,04	100,00	100	100	100	100
Total	1.001,1	1.001,0	Módulo de Finura = 1,50					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.008,7	1.006,3									
%	0,75%	0,52%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE F

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 10% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 4		

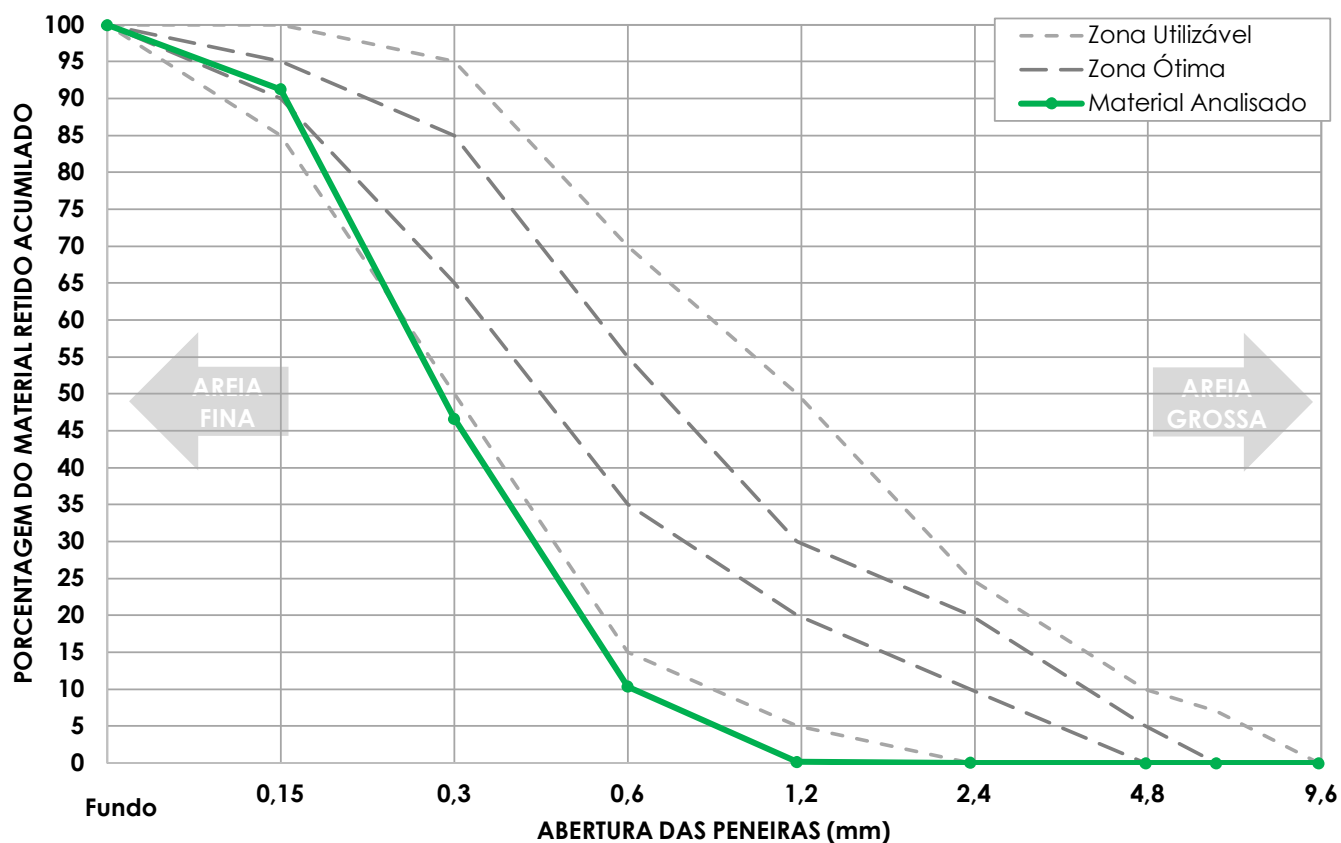
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,0	0,0	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0	10	20	25
1,18	0,0	0,0	0,1	0,19	0,09	0,145	0,18	5	20	30	50
0,6	0,0	0,0	10,22	10,59	0,37	10,405	10,58	15	35	55	70
0,3	0,0	0,0	36,31	36,57	0,26	36,44	47,02	50	65	85	95
0,15	0,0	0,0	44,56	44,57	0,01	44,565	91,59	85	90	95	100
Fundo	0,0	0,0	8,79	8,04	0,75	8,415	100,00	100	100	100	100
Total	0,0	0,0	Módulo de Finura = 1,49					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	0,0	0,0									
%	0,00%	0,00%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

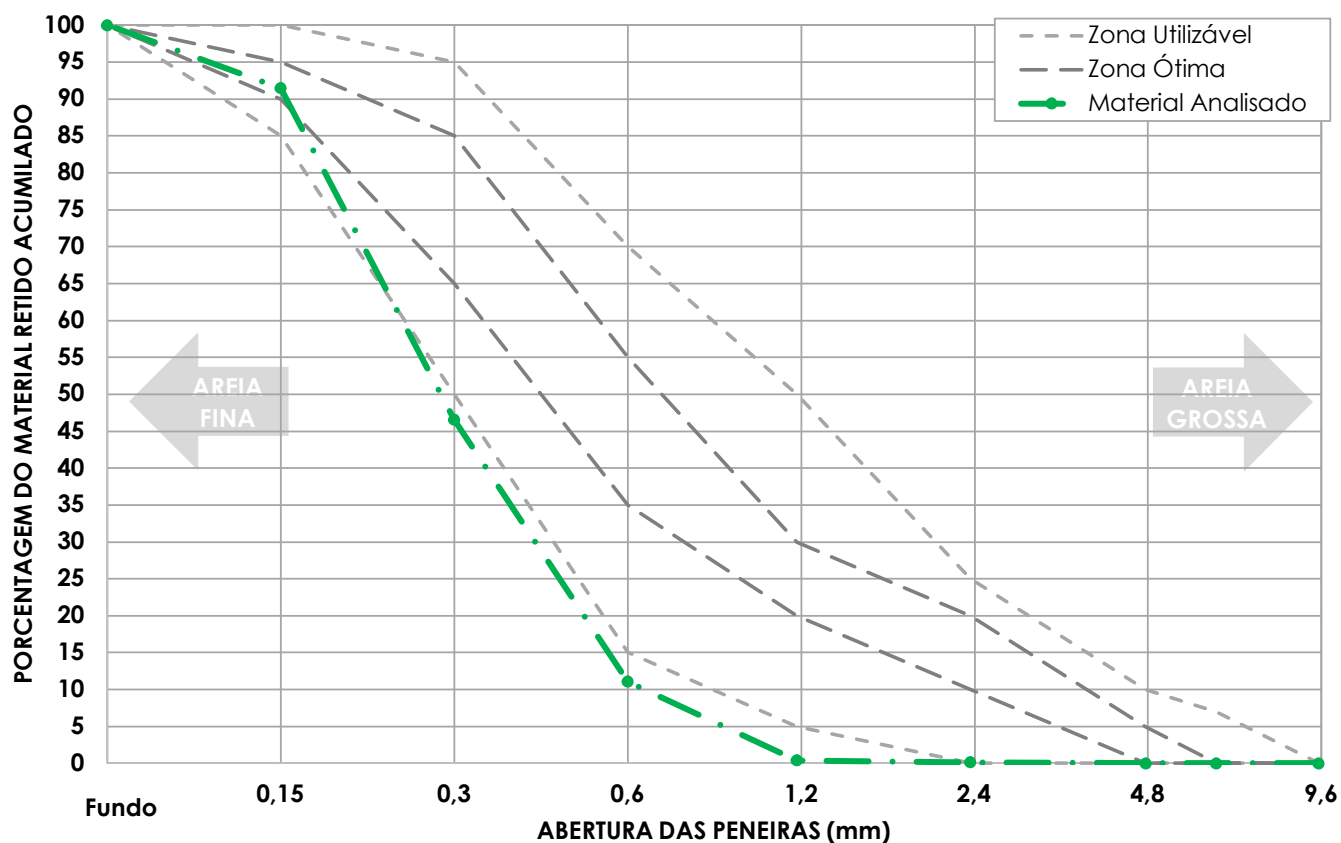
APÊNDICE G

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 10% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 9		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	5	10
2,36	1,3	1,7	0,13	0,17	0,04	0,15	0,15	0	10	20	25
1,18	2,4	2,6	0,24	0,26	0,02	0,25	0,40	5	20	30	50
0,6	106,8	107,8	10,62	10,73	0,11	10,67	11,07	15	35	55	70
0,3	346,8	365,7	34,48	36,40	1,92	35,44	46,51	50	65	85	95
0,15	449,3	454,0	44,66	45,19	0,53	44,93	91,44	85	90	95	100
Fundo	99,3	72,9	9,87	7,26	2,62	8,56	100,00	100	100	100	100
Total	1.005,9	1.004,8	Módulo de Finura = 1,50					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.012,7	1.014,3									
%	0,67%	0,94%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE G

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 10% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 9		

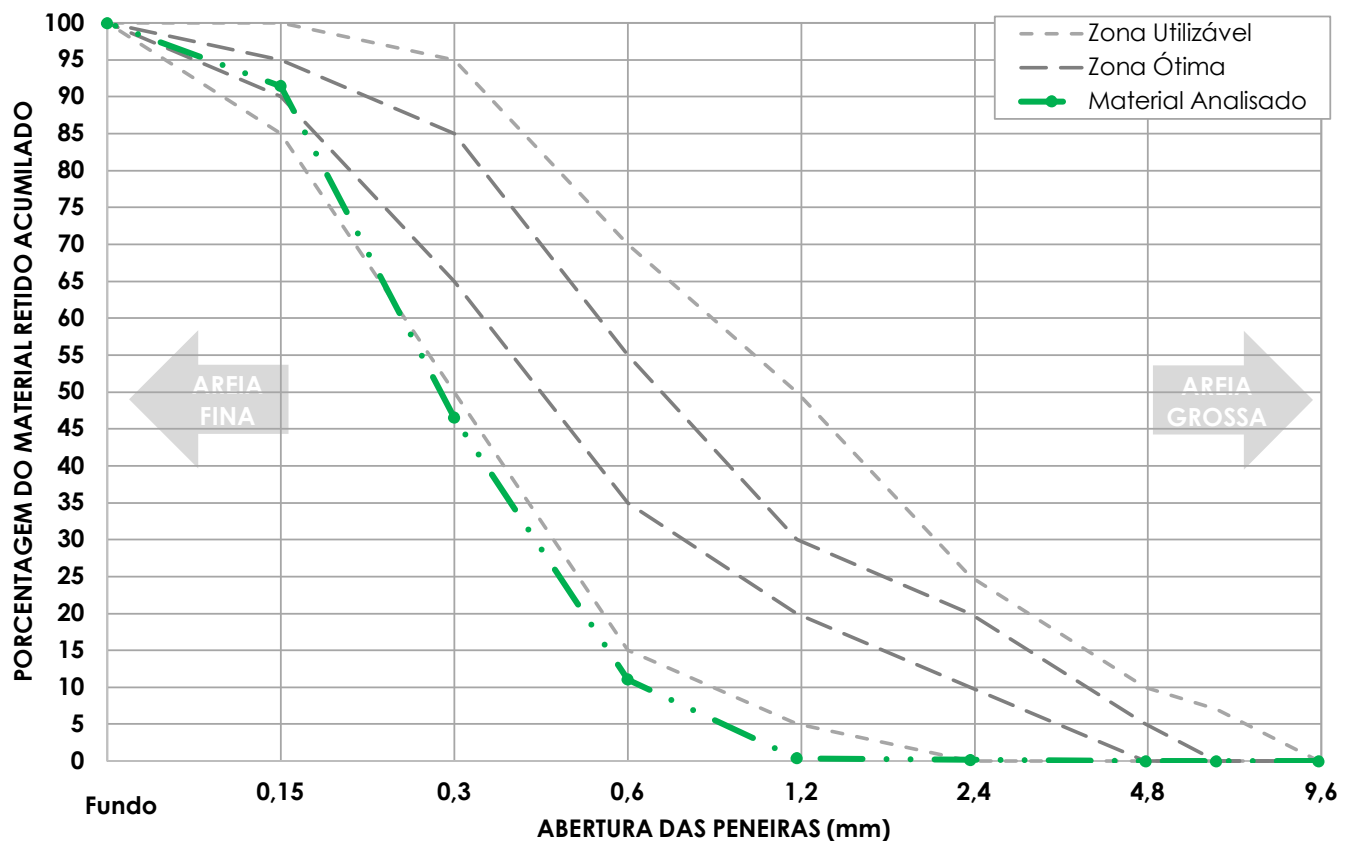
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	1,3	0,8	0,13	0,08	0,05	0,11	0,11	0	10	20	25
1,18	2,2	2,1	0,22	0,21	0,01	0,22	0,33	5	20	30	50
0,6	106,0	107,4	10,55	10,69	0,14	10,62	10,95	15	35	55	70
0,3	364,4	368,0	36,28	36,64	0,36	36,46	47,41	50	65	85	95
0,15	440,4	453,2	43,85	45,13	1,28	44,49	91,90	85	90	95	100
Fundo	90,0	72,7	8,96	7,24	1,72	8,1	100,00	100	100	100	100
Total	1.004,4	1.004,1	Módulo de Finura = 1,51					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.012,8	1.011,6									
%	0,83%	0,74%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE G

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 10% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 9		

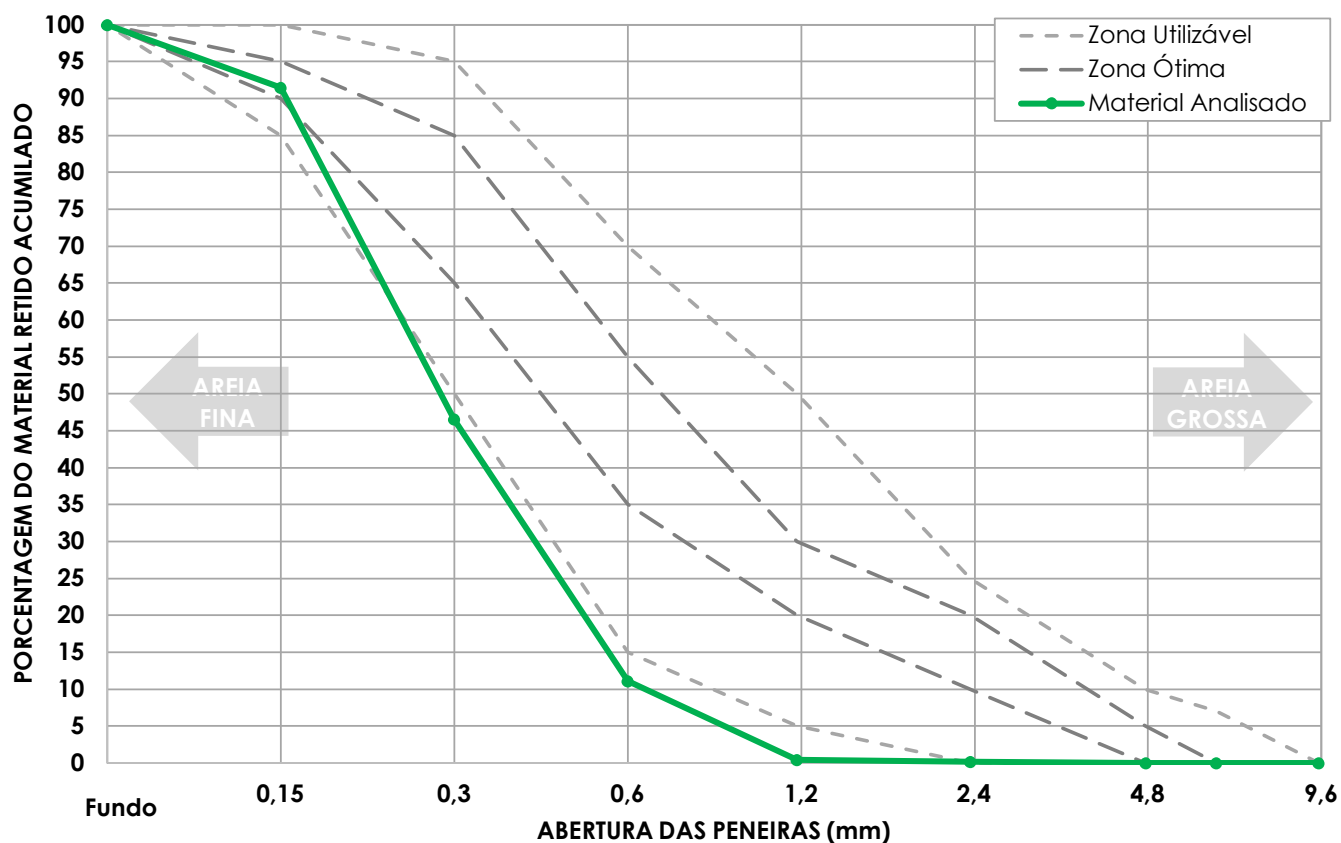
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,0	0,0	0,15	0,11	0,04	0,13	0,13	0	10	20	25
1,18	0,0	0,0	0,25	0,22	0,03	0,235	0,37	5	20	30	50
0,6	0,0	0,0	10,67	10,62	0,05	10,645	11,01	15	35	55	70
0,3	0,0	0,0	35,44	36,46	1,02	35,95	46,96	50	65	85	95
0,15	0,0	0,0	44,93	44,49	0,44	44,71	91,67	85	90	95	100
Fundo	0,0	0,0	8,56	8,1	0,46	8,33	100,00	100	100	100	100
Total	0,0	0,0	Módulo de Finura = 1,50					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	0,0	0,0									
%	0,00%	0,00%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE G

Interessado							Registro				
Procedência							Material	Areia do rio Acre com 10% de vidro			
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 9										
ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO											
2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,38	496,21	495,37	495,62	495,63	496,78	495,83			
massa sss (g);	mB	500,96	502,02	501,2	501,1	501,3	501,57	501,36			
absorção de água (%)	Abs	1,13	1,17	1,18	1,11	1,14	0,96	1,11			
3) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,38	496,21	495,37	495,62	495,63	496,78	495,83			
massa sss (g)	mB	500,96	502,02	501,2	501,1	501,3	501,57	501,36			
massa sss + do frasco (g)	mC	1040,13	1040,55	1041,44	1042,18	1039,72	1040,41	1040,74			
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1344,41	1344,35	1344,5	1346,63	1343,05	1344,66	1344,6			
volume frasco calibrado (cm3)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0			
volume de água adicionada ao frasco (cm3)	Va	304,74	304,26	303,52	304,91	303,79	304,71	304,32			
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985			
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,537	2,535	2,521	2,540	2,526	2,544	2,534			
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,566	2,565	2,551	2,569	2,555	2,568	2,562			
4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (NBR 16972)					Método C		Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa do agregado + recipiente (g)	mar	7018,20	7059,61	7024,67	7010,50	7006,03	7000,72	7019,96			
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0			
massa do agregado seco (g)	m	4329,20	4370,61	4335,67	4321,50	4317,03	4311,72	4330,96			
volume do recipiente (cm3)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0			
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,412	1,426	1,415	1,410	1,408	1,407	1,413			
massa unitária sss (g/cm3)	Pas	1,428	1,442	1,430	1,426	1,424	1,422	1,429			
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	44,242	43,664	43,808	44,416	44,156	44,615	44,150			
5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µm POR LAVAGEM (NBR 16973)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa inicial da amostra seca (g)	mi	302,61	301,42	300,26	300,72			301,25			
massa da amostra seca após a lavagem(g)	mf	293,74	293,05	291,76	291,86			292,60			
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	2,93	2,78	2,83	2,95			2,87			
OBS:											
RESUMO DE RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO											
Absorção de água (%)	Massa específica (g/cm3)			Índice de Vazios (%)	Material pulver. (%)	Impureza orgânica em p.p.m	Reação Alcalis Agregado	Granulometria		Inchamento	
	Seca (Real)	Sat. Sup. Seca (SSS)	Unitária (Aparente)					Módulo Finura	Diâmetro Máximo	Médio	Umidade Crítica (%)
1,11	2,53	2,562	1,413	#REF!	2,87	< 300	-	1,50	1,18	1,34	225,00%
NBR 16916			NBR 16972		NBR 16973	NBR NM 49	NBR 15577	NBR NM 248		NBR 6467	

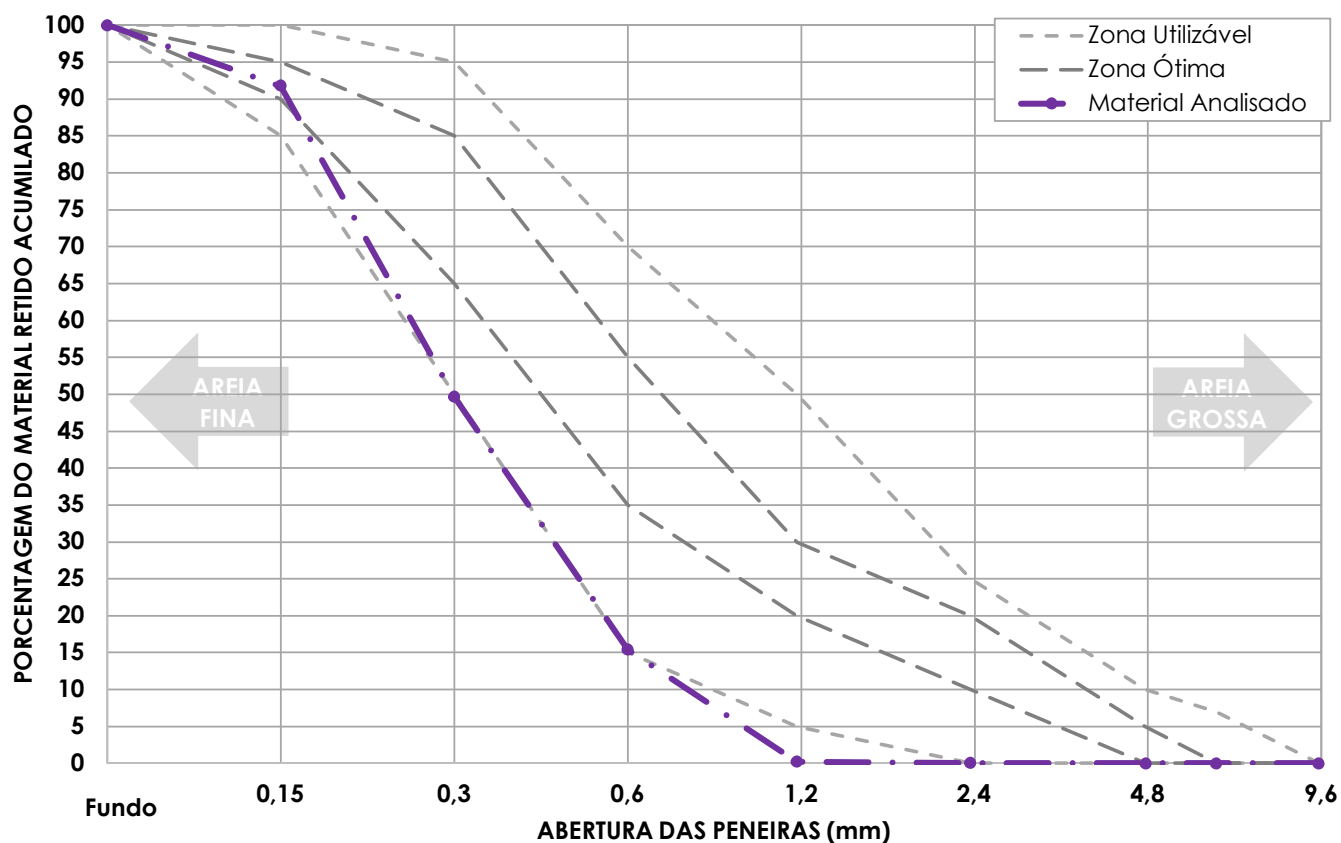
APÊNDICE H

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 5		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,9	0,5	0,09	0,05	0,04	0,07	0,07	0	10	20	25
1,18	1,9	1,1	0,18	0,11	0,07	0,15	0,22	5	20	30	50
0,6	152,6	151,8	15,21	15,19	0,03	15,2	15,42	15	35	55	70
0,3	332,8	353,2	33,19	35,33	2,14	34,26	49,68	50	65	85	95
0,15	414,9	427,6	41,37	42,77	1,4	42,07	91,75	85	90	95	100
Fundo	99,8	65,5	9,95	6,55	3,4	8,25	100,00	100	100	100	100
Total	1.002,8	999,7	Módulo de Finura = 1,57					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.008,3	1.008,2									
%	0,55%	0,84%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE H

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 5		

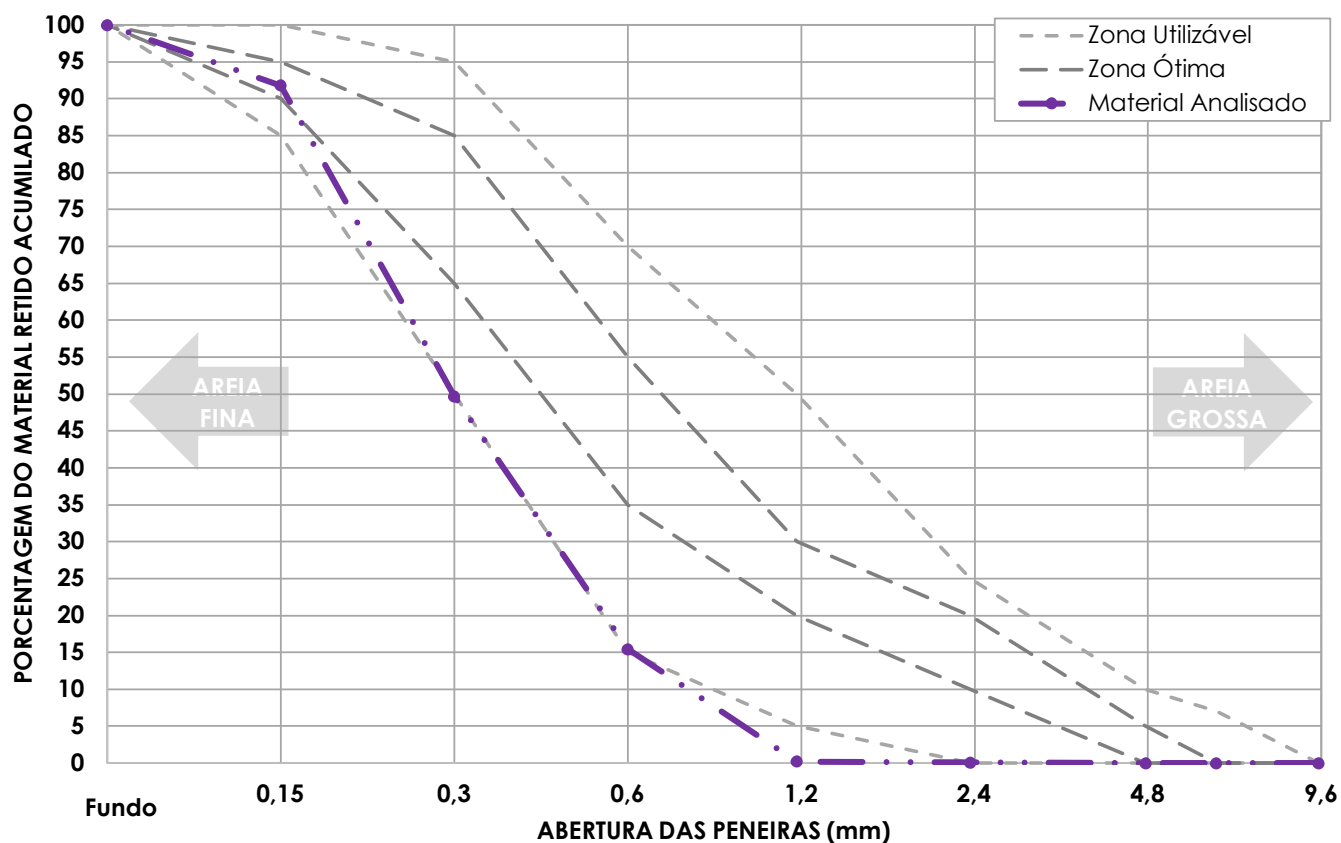
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,7	0,3	0,07	0,03	0,03	0,05	0,05	0	10	20	25
1,18	1,6	1,7	0,16	0,17	0,01	0,16	0,21	5	20	30	50
0,6	156,0	155,9	15,55	15,57	0,02	15,56	15,77	15	35	55	70
0,3	344,4	347,5	34,34	34,71	0,37	34,52	50,29	50	65	85	95
0,15	415,7	427,9	41,45	42,74	1,3	42,09	92,38	85	90	95	100
Fundo	84,7	67,9	8,44	6,78	1,67	7,62	100,00	100	100	100	100
Total	1.003,1	1.001,1	Módulo de Finura = 1,59					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.007,5	1.009,8									
%	0,44%	0,86%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE H

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 5		

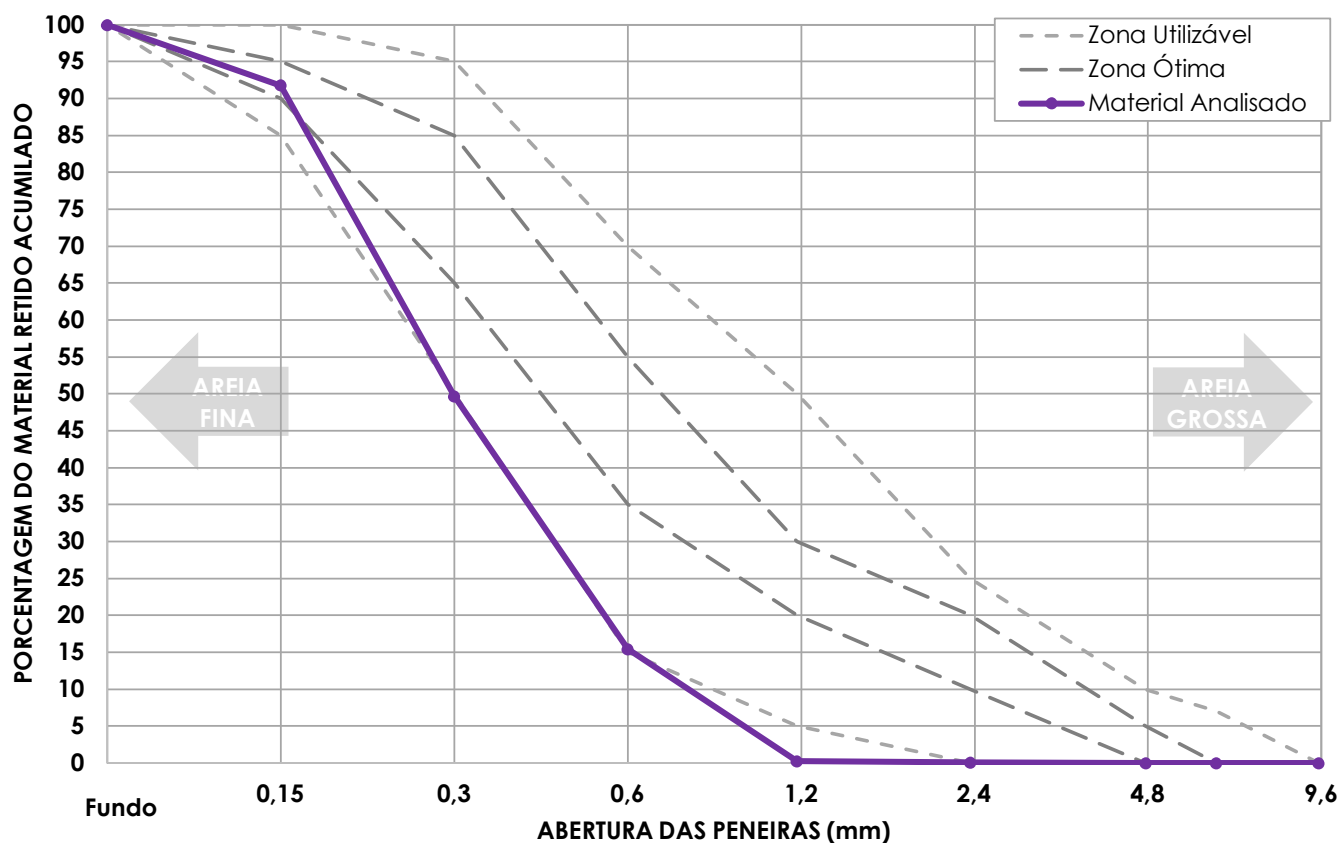
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,0	0,0	0,07	0,05	0,02	0,06	0,06	0	10	20	25
1,18	0,0	0,0	0,15	0,16	0,01	0,16	0,22	5	20	30	50
0,6	0,0	0,0	15,2	15,56	0,36	15,38	15,60	15	35	55	70
0,3	0,0	0,0	34,26	34,52	0,26	34,39	49,99	50	65	85	95
0,15	0,0	0,0	42,07	42,09	0,02	42,08	92,07	85	90	95	100
Fundo	0,0	0,0	8,25	7,62	0,63	7,93	100,00	100	100	100	100
Total	0,0	0,0	Módulo de Finura = 1,58					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	0,0	0,0									
%	0,00%	0,00%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE H

Interessado							Registro		
Procedência							Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro	
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 5								
ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO									
2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916)							Data:		
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	494,75	495,83	496,18	495,32	495,73	495,32	495,52	
massa sss (g);	mB	500,28	501,4	501,02	501,02	500,5	500,35	500,76	
absorção de água (%)	Abs	1,12	1,12	0,98	1,15	0,96	1,02	1,06	
3) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (NBR 16916)							Data:		
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	494,75	495,83	496,18	495,32	495,73	495,32	495,52	
massa sss (g)	mB	500,28	501,4	501,02	501,02	500,5	500,35	500,76	
massa sss + do frasco (g)	mC	1040,4	1040,38	1041,99	1042,44	1039,66	1040,07	1040,82	
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1343,86	1344,61	1345,83	1346,54	1342,26	1344,82	1344,65	
volume frasco calibrado (cm3)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	
volume de água adicionada ao frasco (cm3)	Va	303,92	304,69	304,30	304,56	303,06	305,21	304,29	
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,523	2,539	2,535	2,534	2,517	2,543	2,532	
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,551	2,567	2,560	2,564	2,541	2,569	2,559	
4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (NBR 16972)					Método C		Data:		
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa do agregado + recipiente (g)	mar	7086,31	7090,76	7095,00	7109,40	7144,79	7103,23	7104,92	
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	
massa do agregado seco (g)	m	4397,31	4401,76	4406,00	4420,40	4455,79	4414,23	4415,92	
volume do recipiente (cm3)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,435	1,436	1,438	1,442	1,454	1,440	1,441	
massa unitária sss (g/cm3)	Pas	1,450	1,451	1,453	1,458	1,469	1,455	1,456	
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	43,054	43,344	43,216	43,008	42,158	43,277	43,009	
5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µm POR LAVAGEM (NBR 16973)							Data:		
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA	
massa inicial da amostra seca (g)	mi	300,37	301,2	300,16	301,38			300,78	
massa da amostra seca após a lavagem(g)	mf	291,73	292,61	291,23	292,76			292,08	
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	2,88	2,85	2,98	2,86			2,89	
OBS:									

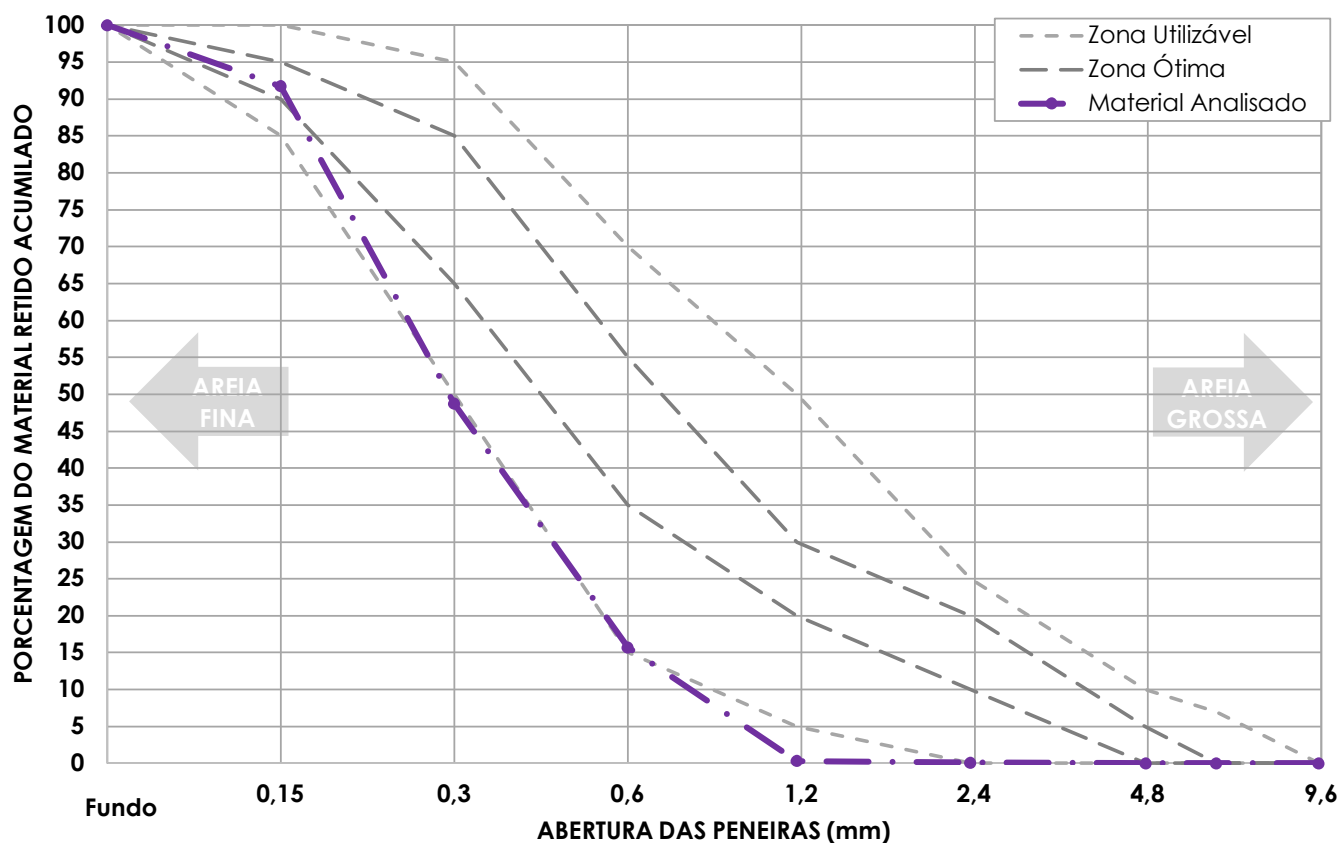
APÊNDICE I

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 10		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	1,4	0,6	0,14	0,05	0,08	0,1	0,10	0	10	20	25
1,18	2,6	1,2	0,26	0,12	0,14	0,19	0,29	5	20	30	50
0,6	153,2	155,8	15,29	15,55	0,26	15,42	15,71	15	35	55	70
0,3	326,8	333,9	32,62	33,33	0,71	32,97	48,68	50	65	85	95
0,15	424,5	437,3	42,37	43,65	1,29	43,01	91,69	85	90	95	100
Fundo	93,4	73,1	9,32	7,29	2,03	8,31	100,00	100	100	100	100
Total	1.001,9	1.001,8	Módulo de Finura = 1,56					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.009,9	1.008,8									
%	0,80%	0,69%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE I

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 10		

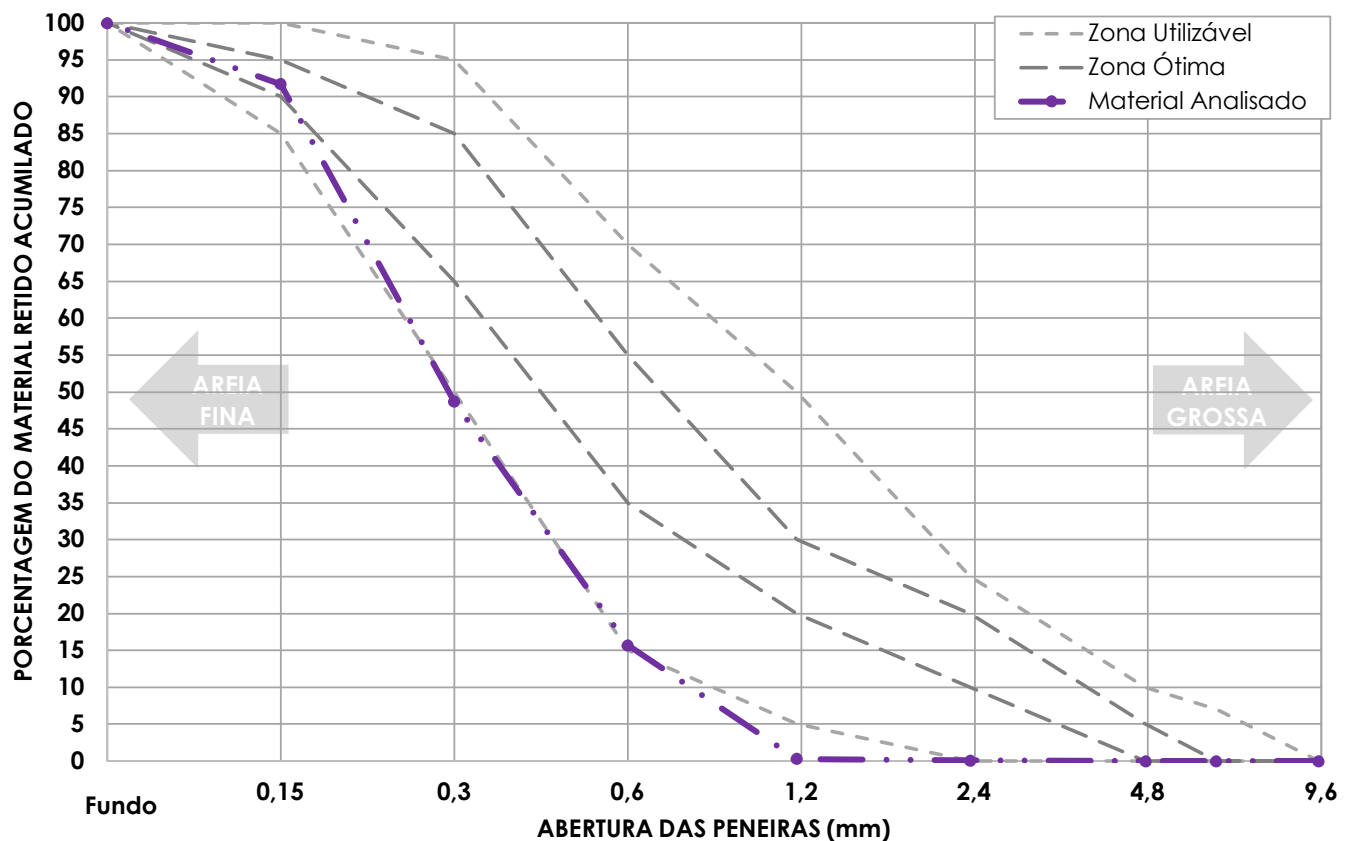
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	0,5	0,5	0,05	0,04	0	0,05	0,05	0	10	20	25
1,18	2,2	1,2	0,22	0,12	0,09	0,17	0,22	5	20	30	50
0,6	153,1	155,8	15,32	15,57	0,26	15,45	15,67	15	35	55	70
0,3	344,3	347,6	34,44	34,75	0,31	34,59	50,26	50	65	85	95
0,15	415,3	427,8	41,54	42,76	1,22	42,15	92,41	85	90	95	100
Fundo	84,3	67,5	8,43	6,74	1,69	7,59	100,00	100	100	100	100
Total	999,7	1.000,3	Módulo de Finura = 1,59					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.007,1	1.006,2									
%	0,73%	0,59%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE I

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 10		

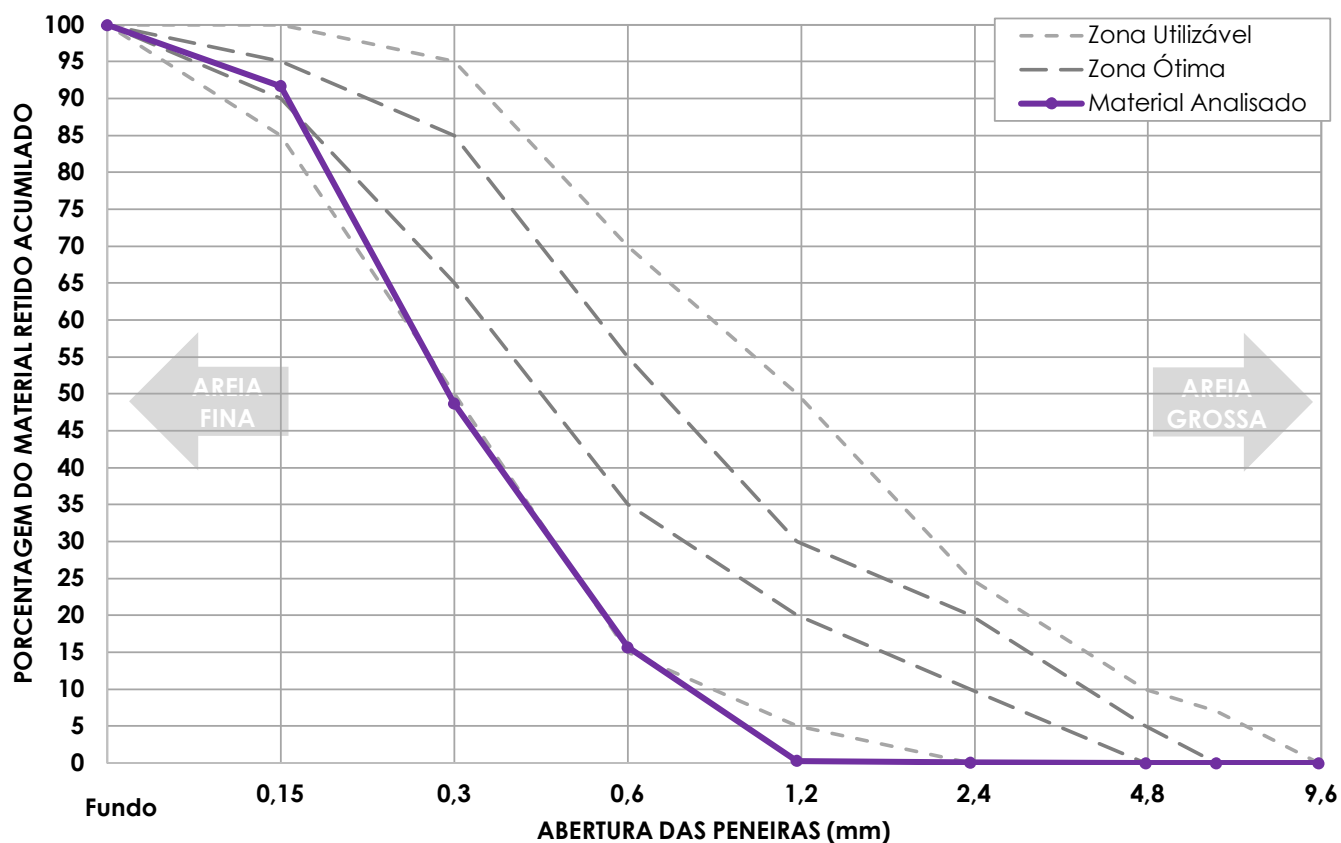
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	0,0	0,0	0,1	0,05	0,05	0,08	0,08	0	10	20	25
1,18	0,0	0,0	0,19	0,17	0,02	0,18	0,26	5	20	30	50
0,6	0,0	0,0	15,42	15,45	0,03	15,43	15,69	15	35	55	70
0,3	0,0	0,0	32,97	34,59	1,62	33,78	49,47	50	65	85	95
0,15	0,0	0,0	43,01	42,15	0,86	42,58	92,05	85	90	95	100
Fundo	0,0	0,0	8,31	7,59	0,72	7,95	100,00	100	100	100	100
Total	0,0	0,0	Módulo de Finura = 1,58					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	0,0	0,0									
%	0,00%	0,00%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE I

Interessado							Registro				
Procedência							Material	Areia do rio Acre com 15% de vidro			
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 10										
ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO											
2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,11	495,36	495,44	495,08	496,26	495,43	495,45			
massa sss (g);	mB	500,46	500,99	500,26	500,98	501,82	500,31	500,8			
absorção de água (%)	Abs	1,08	1,14	0,97	1,19	1,12	0,99	1,08			
3) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,11	495,36	495,44	495,08	496,26	495,43	495,45			
massa sss (g)	mB	500,46	500,99	500,26	500,98	501,82	500,31	500,8			
massa sss + do frasco (g)	mC	1040,18	1040,02	1041,28	1042,32	1039,2	1040,45	1040,58			
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1344,38	1344,09	1345,71	1346,28	1343,98	1343,68	1344,69			
volume frasco calibrado (cm3)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0			
volume de água adicionada ao frasco (cm3)	Va	304,66	304,53	304,89	304,42	305,24	303,69	304,57			
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985			
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,535	2,534	2,539	2,531	2,548	2,524	2,535			
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,562	2,563	2,564	2,561	2,577	2,549	2,563			
4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (NBR 16972)					Método C		Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa do agregado + recipiente (g)	mar	7113,20	7154,61	7119,30	7105,36	7100,35	7095,40	7114,70			
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0			
massa do agregado seco (g)	m	4424,20	4465,61	4430,30	4416,36	4411,35	4406,40	4425,70			
volume do recipiente (cm3)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0			
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,443	1,457	1,445	1,441	1,439	1,438	1,444			
massa unitária sss (g/cm3)	Pas	1,459	1,473	1,461	1,456	1,455	1,453	1,460			
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	42,964	42,421	42,990	42,991	43,430	42,948	42,957			
5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µm POR LAVAGEM (NBR 16973)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa inicial da amostra seca (g)	mi	302,44	300,45	301,08	300,62			301,15			
massa da amostra seca após a lavagem(g)	mf	293,96	291,53	292,53	292			292,51			
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	2,80	2,97	2,84	2,87			2,87			
OBS:											
RESUMO DE RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO											
Absorção de água (%)	Massa específica (g/cm3)			Índice de Vazios (%)	Material pulver. (%)	Impureza orgânica em p.p.m	Reação Álcalis Agregado	Granulometria		Inchamento	
	Seca (Real)	Sat. Sup. Seca (SSS)	Unitária (Aparente)					Módulo Finura	Diâmetro Máximo	Médio	Umidade Crítica (%)
1,08	2,54	2,563	1,444	#REF!	2,87	< 300	-	1,56	1,18	1,34	225,00%
NBR 16916			NBR 16972		NBR 16973	NBR NM 49	NBR 15577	NBR NM 248		NBR 6467	

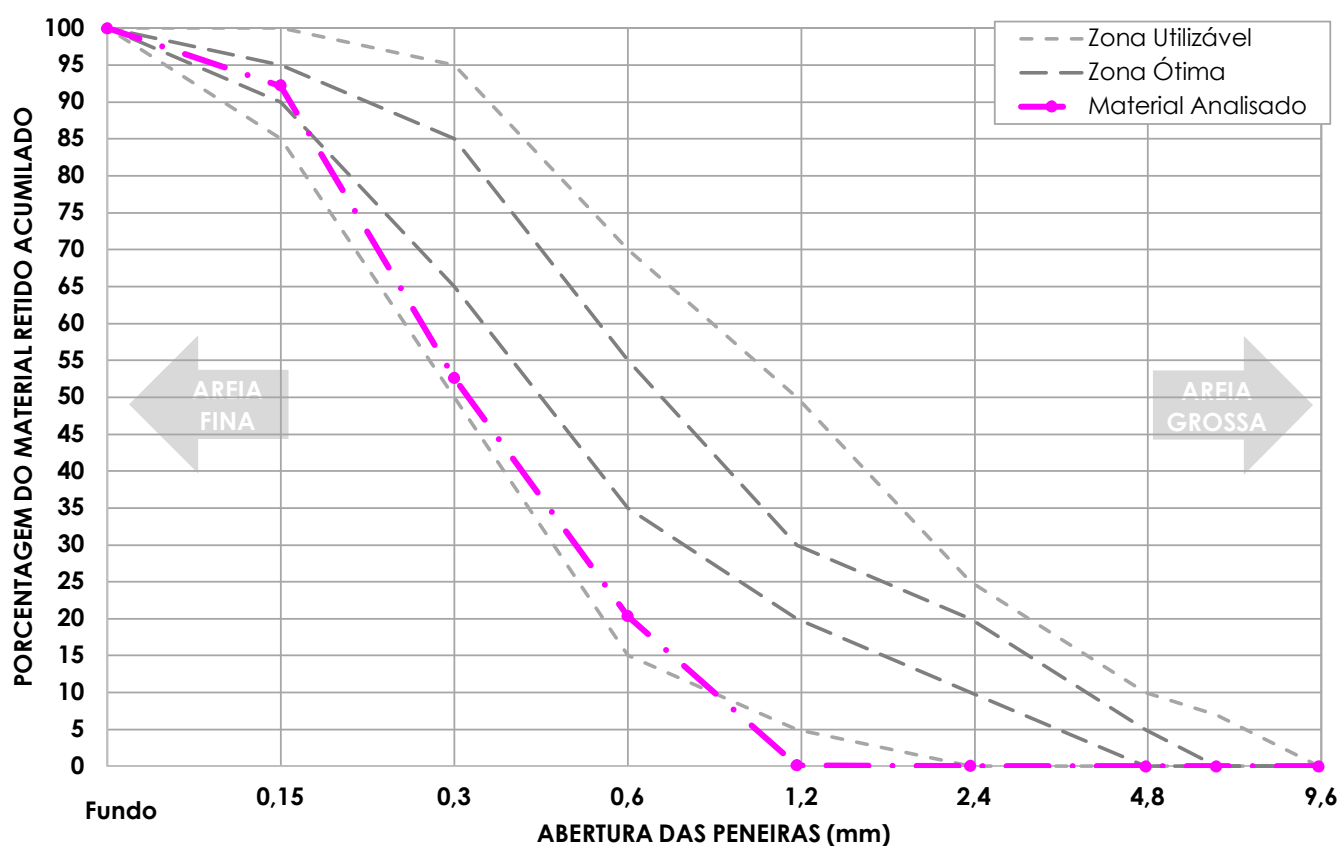
APÊNDICE J

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 6		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	0,5	0,4	0,05	0,04	0,01	0,05	0,05	0	10	20	25
1,18	1,3	0,5	0,13	0,05	0,08	0,09	0,14	5	20	30	50
0,6	202,4	201,2	20,19	20,15	0,04	20,17	20,31	15	35	55	70
0,3	313,3	332,4	31,25	33,28	2,03	32,27	52,58	50	65	85	95
0,15	390,4	402,1	38,94	40,26	1,32	39,6	92,18	85	90	95	100
Fundo	94,7	62,1	9,44	6,22	3,23	7,82	100,00	100	100	100	100
Total	1.002,5	998,7	Módulo de Finura = 1,65					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.007,3	1.005,1									
%	0,48%	0,63%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

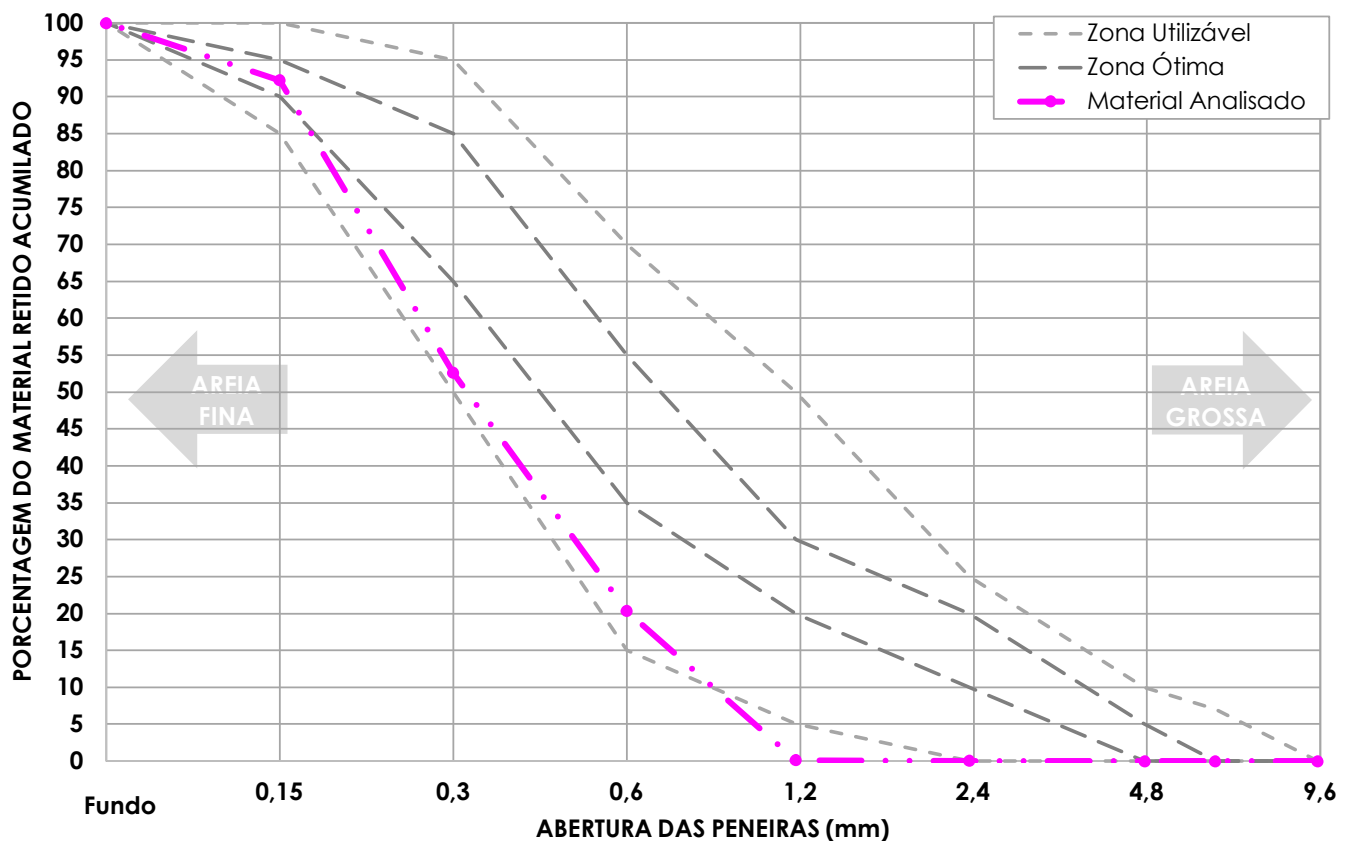
APÊNDICE J

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 6		

ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)										Data:	
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	1,1	0,1	0,11	0,01	0,09	0,06	0,06	0	10	20	25
1,18	2,6	0,0	0,26	0,00	0,25	0,13	0,19	5	20	30	50
0,6	204,5	202,9	20,32	20,34	0,02	20,33	20,52	15	35	55	70
0,3	295,8	328,0	29,39	32,87	3,48	31,13	51,65	50	65	85	95
0,15	403,3	389,6	40,08	39,05	1,03	39,56	91,21	85	90	95	100
Fundo	99,2	77,1	9,85	7,73	2,13	8,79	100,00	100	100	100	100
Total	1.006,4	997,9	Módulo de Finura = 1,64					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.011,9	1.004,2									
%	0,55%	0,63%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE J

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 6		

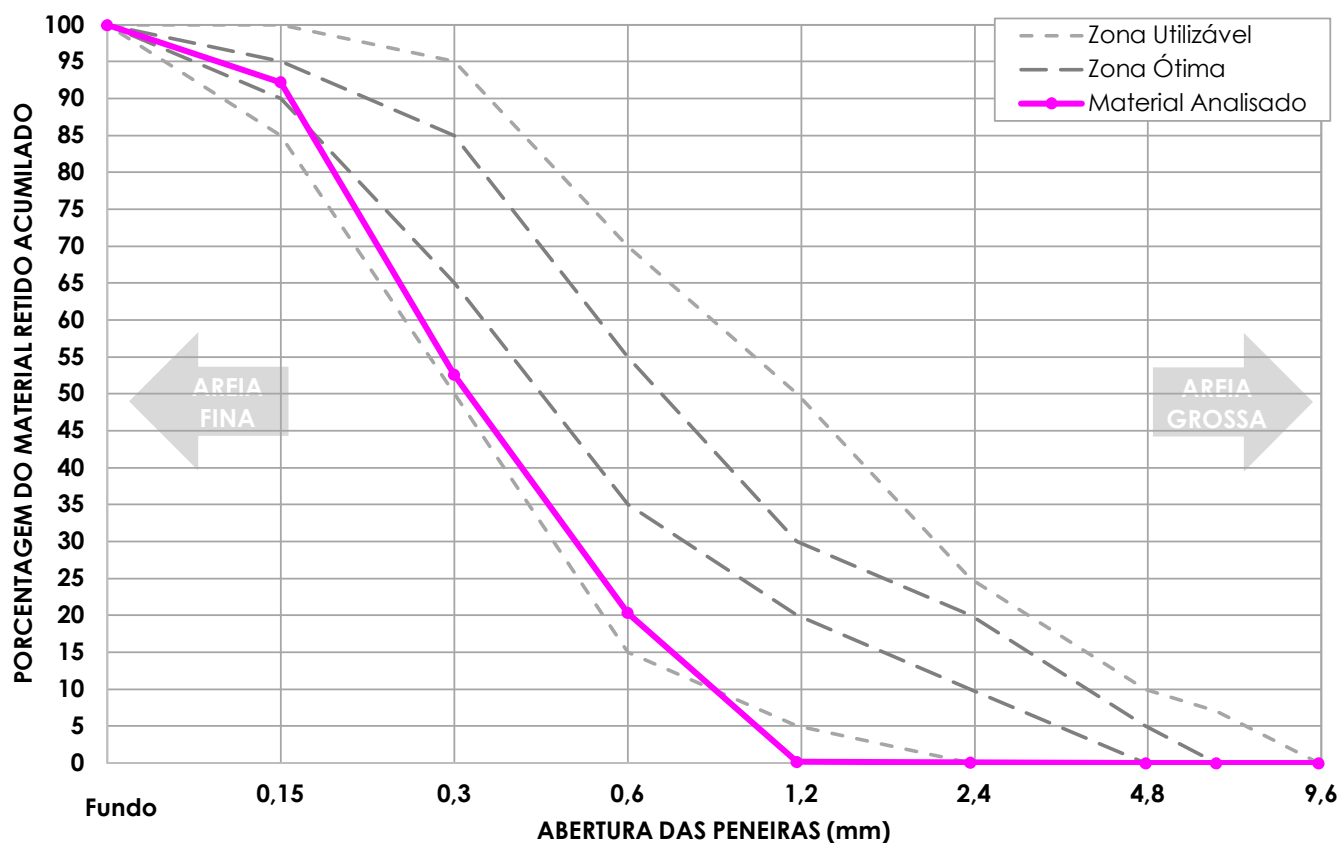
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	0,0	0,0	0,05	0,06	0,01	0,06	0,06	0	10	20	25
1,18	0,0	0,0	0,09	0,13	0,04	0,11	0,17	5	20	30	50
0,6	0,0	0,0	20,17	20,33	0,16	20,25	20,42	15	35	55	70
0,3	0,0	0,0	32,27	31,13	1,14	31,7	52,12	50	65	85	95
0,15	0,0	0,0	39,6	39,56	0,04	39,58	91,70	85	90	95	100
Fundo	0,0	0,0	7,82	8,79	0,97	8,3	100,00	100	100	100	100
Total	0,0	0,0	Módulo de Finura = 1,64					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	0,0	0,0									
%	0,00%	0,00%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE J

Interessado							Registro				
Procedência							Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro			
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 6										
ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO											
2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,32	496,22	496,41	496,47	496,95	495,26	496,11			
massa sss (g);	mB	500,59	500,59	500,84	500,85	501,55	500,35	500,8			
absorção de água (%)	Abs	1,06	0,88	0,89	0,88	0,93	1,03	0,95			
3) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	495,32	496,22	496,41	496,47	496,95	495,26	496,11			
massa sss (g)	mB	500,59	500,59	500,84	500,85	501,55	500,35	500,8			
massa sss + do frasco (g)	mC	1040,07	1040,24	1041,04	1042,76	1039,34	1040,58	1040,67			
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1343,79	1344,12	1344,82	1346,46	1343,45	1344,27	1344,49			
volume frasco calibrado (cm3)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0			
volume de água adicionada ao frasco (cm3)	Va	304,18	304,34	304,24	304,16	304,57	304,15	304,27			
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985			
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,529	2,536	2,536	2,535	2,543	2,529	2,535			
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,556	2,558	2,558	2,557	2,566	2,555	2,559			
4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (NBR 16972)					Método C		Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa do agregado + recipiente (g)	mar	7201,29	7205,53	7210,46	7224,80	7259,93	7218,40	7220,07			
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0			
massa do agregado seco (g)	m	4512,29	4516,53	4521,46	4535,80	4570,93	4529,40	4531,07			
volume do recipiente (cm3)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0			
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,472	1,474	1,475	1,480	1,491	1,478	1,478			
massa unitária sss (g/cm3)	Pas	1,486	1,488	1,489	1,494	1,505	1,492	1,492			
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	41,709	41,808	41,737	41,536	41,263	41,472	41,588			
5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µm POR LAVAGEM (NBR 16973)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa inicial da amostra seca (g)	mi	302,97	300,66	301,13	300,26			301,26			
massa da amostra seca após a lavagem(g)	mf	294,12	291,81	292,95	291,42			292,58			
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	2,92	2,94	2,72	2,94			2,88			
OBS:											
RESUMO DE RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO											
Absorção de água (%)	Massa específica (g/cm3)			Índice de Vazios (%)	Material pulver. (%)	Impureza orgânica em p.p.m	Reação Alcalis Agregado	Granulometria		Inchamento	
	Seca (Real)	Sat. Sup. Seca (SSS)	Unitária (Aparente)					Módulo Finura	Diâmetro Máximo	Médio	Umidade Crítica (%)
0,95	2,54	2,559	1,478	41,59	2,88	< 300	-	1,65	1,18	1,34	225,00%
NBR 16916			NBR 16972		NBR 16973	NBR NM 49	NBR 15577	NBR NM 248		NBR 6467	

APÊNDICE K											
Interessado								Registro			
Procedência								Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro		
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 11										
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO											
1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)											Data:
Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Variação <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	0,9	0,5	0,09	0,05	0,04	0,07	0,07	0	10	20	25
1,18	2,4	1,3	0,24	0,13	0,11	0,18	0,25	5	20	30	50
0,6	206,1	202,6	20,49	20,26	0,23	20,38	20,63	15	35	55	70
0,3	308,2	321,8	30,64	32,19	1,55	31,41	52,04	50	65	85	95
0,15	399,7	402,3	39,73	40,24	0,5	39,98	92,02	85	90	95	100
Fundo	88,6	71,4	8,81	7,14	1,67	7,98	100,00	100	100	100	100
Total	1.005,9	999,8									
Inicial	1.012,9	1.004,3									
%	0,69%	0,45%									
Módulo de Finura = 1,65								Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			

CURVA GRANULOMÉTRICA

Porcentagem do Material Retido Acumulado

Abertura das Peneiras (mm)

Material Analisado

Zona Utilizável

Zona Ótima

ARFIA FINA

ARFIA GROSSA

OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da série normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE K

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 11		

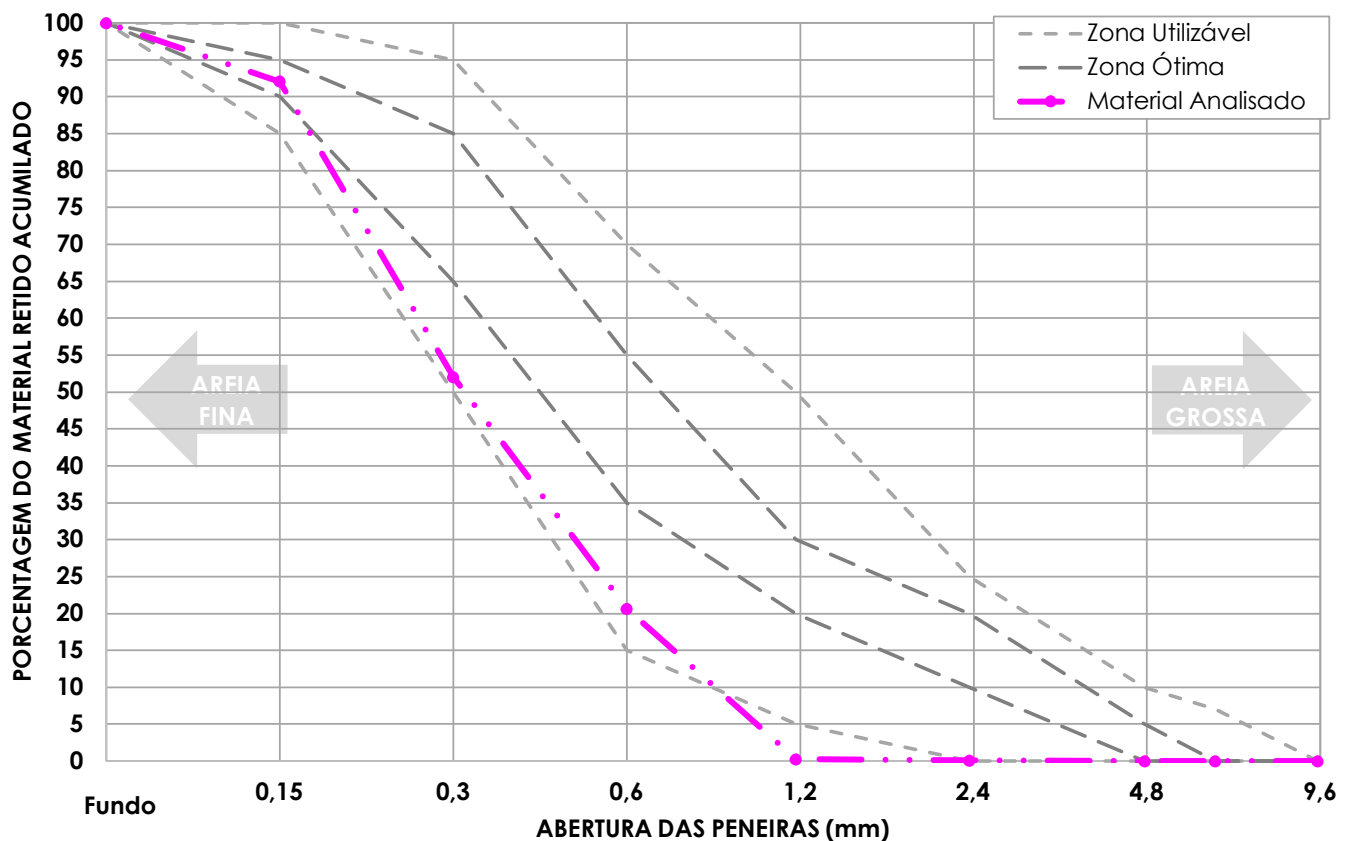
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0	0	0,00	0	0	5	10
2,36	1,3	0,4	0,13	0,04	0,09	0,09	0,09	0	10	20	25
1,18	2,2	0,8	0,21	0,08	0,14	0,15	0,24	5	20	30	50
0,6	207,2	205,2	20,63	20,53	0,1	20,58	20,82	15	35	55	70
0,3	323,5	326,8	32,21	32,71	0,5	32,46	53,28	50	65	85	95
0,15	390,9	402,1	38,92	40,24	1,32	39,58	92,86	85	90	95	100
Fundo	79,3	63,9	7,89	6,40	1,49	7,14	100,00	100	100	100	100
Total	1.004,3	999,1	Módulo de Finura = 1,67					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	1.013,8	1.005,7									
%	0,94%	0,65%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE K

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 11		

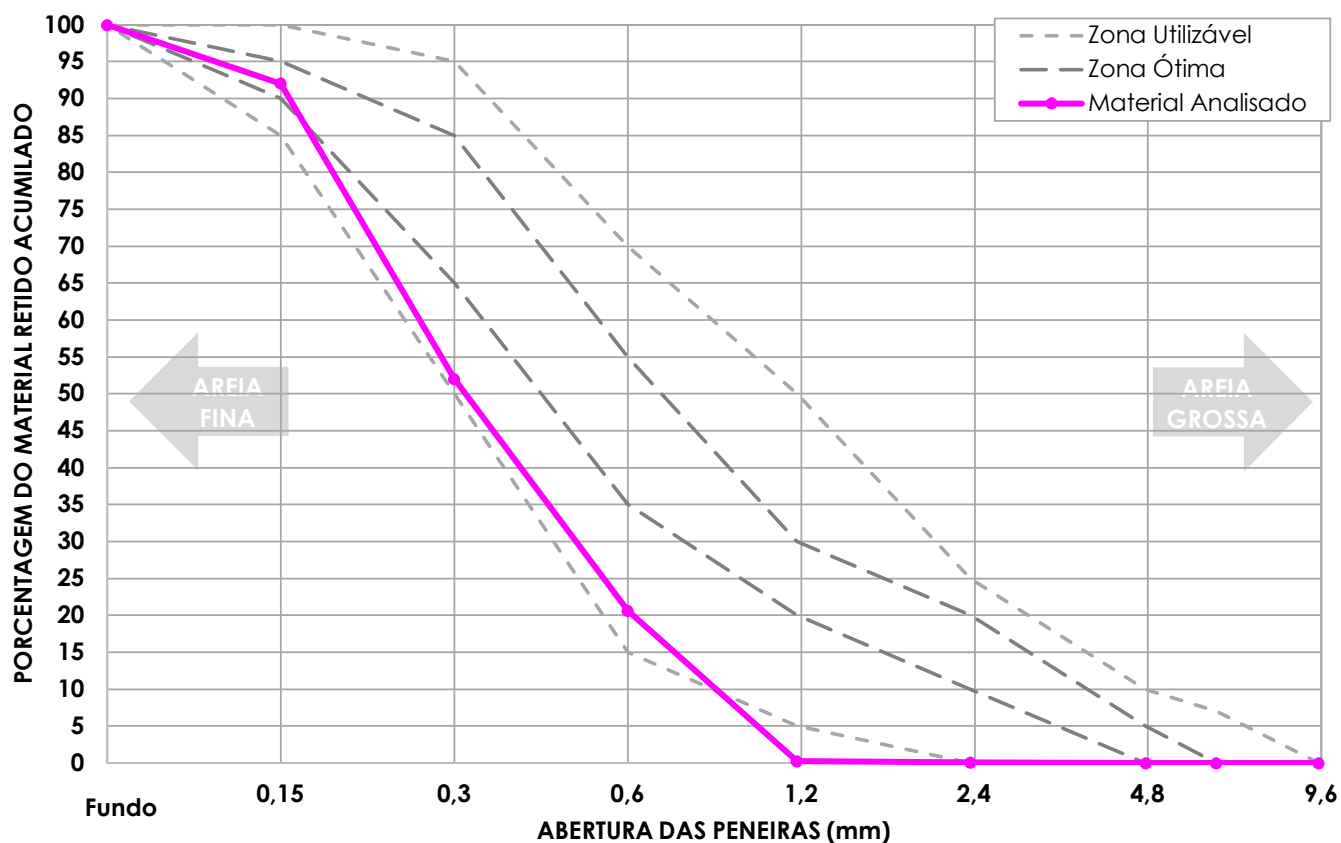
ENSAIOS FÍSICOS DO AGREGADO MIÚDO

1) GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO (NBR 248)

Data:

Abertura peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem do Material Retido (%)					Limites Inferiores		Limites Superiores	
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	Varição <4%	Média	Acumulada	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,75	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
2,36	0,0	0,0	0,07	0,09	0,02	0,08	0,08	0	10	20	25
1,18	0,0	0,0	0,18	0,15	0,03	0,165	0,245	5	20	30	50
0,6	0,0	0,0	20,38	20,58	0,2	20,48	20,725	15	35	55	70
0,3	0,0	0,0	31,41	32,46	1,05	31,935	52,66	50	65	85	95
0,15	0,0	0,0	39,98	39,58	0,4	39,78	92,44	85	90	95	100
Fundo	0,0	0,0	7,98	7,14	0,84	7,56	100,00	100	100	100	100
Total	0,0	0,0	Módulo de Finura = 1,66					Diâmetro Máximo (mm) = 1,18			
Inicial	0,0	0,0									
%	0,00%	0,00%									

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE K

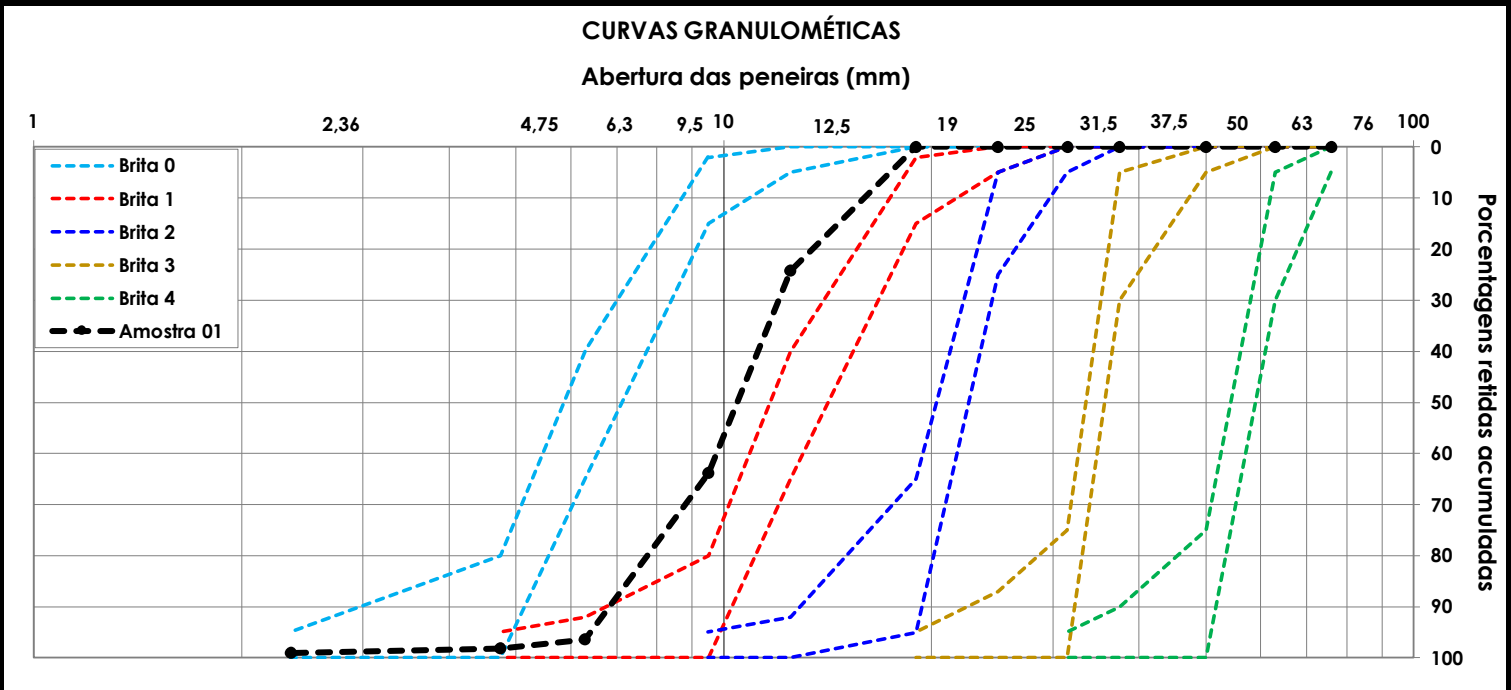
Interessado							Registro				
Procedência							Material	Areia do rio Acre com 20% de vidro			
Observações	Material utilizado para as betonadas Nº 11										
ENSAIOS FÍSICOS DO AGRENADO MIÚDO											
2) DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	496,03	497,08	497,17	496,66	495,84	495,78	496,43			
massa sss (g);	mB	500,94	501,53	501,17	501,39	500,43	500,77	501,04			
absorção de água (%)	Abs	0,99	0,90	0,80	0,95	0,93	1,01	0,93			
3) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE (NBR 16916)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	496,03	497,08	497,17	496,66	495,84	495,78	496,43			
massa sss (g)	mB	500,94	501,53	501,17	501,39	500,43	500,77	501,04			
massa sss + do frasco (g)	mC	1040,84	1040,62	1041,89	1042,3	1039,59	1040,32	1040,93			
massa sss + do frasco + da água (g)	mD	1344,82	1344,87	1344,97	1346,32	1343,23	1344,61	1344,8			
volume frasco calibrado (cm3)	V	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0			
volume de água adicionada ao frasco (cm3)	Va	304,44	304,71	303,54	304,48	304,10	304,75	304,33			
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985			
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,536	2,545	2,531	2,540	2,531	2,539	2,537			
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,562	2,568	2,551	2,564	2,554	2,565	2,561			
4) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (NBR 16972)					Método C		Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa do agregado + recipiente (g)	mar	7222,91	7264,99	7230,01	7215,10	7210,74	7206,23	7225,00			
massa do recipiente vazio (g)	mr	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0	2689,0			
massa do agregado seco (g)	m	4533,91	4575,99	4541,01	4526,10	4521,74	4517,23	4536,00			
volume do recipiente (cm3)	V	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0	3065,0			
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,479	1,493	1,482	1,477	1,475	1,474	1,480			
massa unitária sss (g/cm3)	Pas	1,493	1,507	1,495	1,490	1,489	1,488	1,494			
índice de vazios nos agregados (%)	Ev	41,592	41,256	41,365	41,778	41,625	41,870	41,581			
5) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µm POR LAVAGEM (NBR 16973)							Data:				
Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	MÉDIA			
massa inicial da amostra seca (g)	mi	300,69	300	302,58	300,36			300,91			
massa da amostra seca após a lavagem(g)	mf	292,16	291,57	294,03	291,97			292,43			
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	2,84	2,81	2,83	2,79			2,82			
OBS:											
RESUMO DE RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO											
Absorção de água (%)	Massa específica (g/cm3)			Índice de Vazios (%)	Material pulver. (%)	Impureza orgânica em p.p.m	Reação Alcalis Agregado	Granulometria		Inchamento	
	Seca (Real)	Sat. Sup. Seca (SSS)	Unitária (Aparente)					Módulo Finura	Diâmetro Máximo	Médio	Umidade Crítica (%)
0,93	2,54	2,561	1,48	41,58	2,82	< 300	-	1,65	1,18	1,34	225,00%
NBR 16916			NBR 16972		NBR 16973	NBR NM 49	NBR 15577	NBR NM 248		NBR 6467	

APÊNDICES - AGREGADOS GRAÚDOS

APÊNDICE L			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Brita Nº 1 Comercial de Rio Branco
Observações			

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADO GRAÚDO

1) COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR NM 248:2003											Data:		
Abertura Peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem da massa retida (%)					Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas					
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	variação <4%	média	acumulada	Brita Nº 0 4,75 / 12,5	Brita Nº 1 9,5 / 25	Brita Nº 2 19 / 31,5	Brita Nº 3 25 / 50	Brita Nº 4 37,5 / 75	
75	-	-	-	-	-	-	-					0 - 5	
63	-	-	-	-	-	-	-					5 - 30	
50	-	-	-	-	-	-	-				0 - 5	75 - 100	
37,5	-	-	-	-	-	-	-				5 - 30	90 - 100	
31,5	-	-	-	-	-	-	-			0 - 5	75 - 100	95 - 100	
25	-	-	-	-	-	-	-		0 - 5	5 - 25	87 - 100		
19	-	-	-	-	-	-	-		2 - 15	65 - 95	95 - 100		
12,5	499,11	472,93	24,93	23,58	1,35	24,25	24,25	0 - 5	40 - 65	92 - 100			
9,5	779,52	807,25	38,94	40,25	1,31	39,59	63,84	2 - 15	80 - 100	92 - 100			
6,3	664,94	638,96	33,21	31,86	1,35	32,54	96,38	40 - 65	92 - 100	95 - 100			
4,75	28,82	40,19	1,44	2,00	0,56	1,72	98,10	80 - 100	95 - 100				
2,36	13,38	24,54	0,67	1,22	0,56	0,95	99,05	95 - 100					
1,18	-	-	-	-	-	-	99,05						
0,6	-	-	-	-	-	-	99,05						
0,3	-	-	-	-	-	-	99,05						
0,15	-	-	-	-	-	-	99,05						
Fundo	16,32	21,78	0,82	1,09	0,27	0,95	100,00						
Total (g)	2.002,1	2.005,7	Módulo de Finura = 6,57					Diâmetro Máximo (mm) = 12,5					
Inicial (g)	2.018,0	2.021,0											
%	0,79%	0,76%											



OBS:

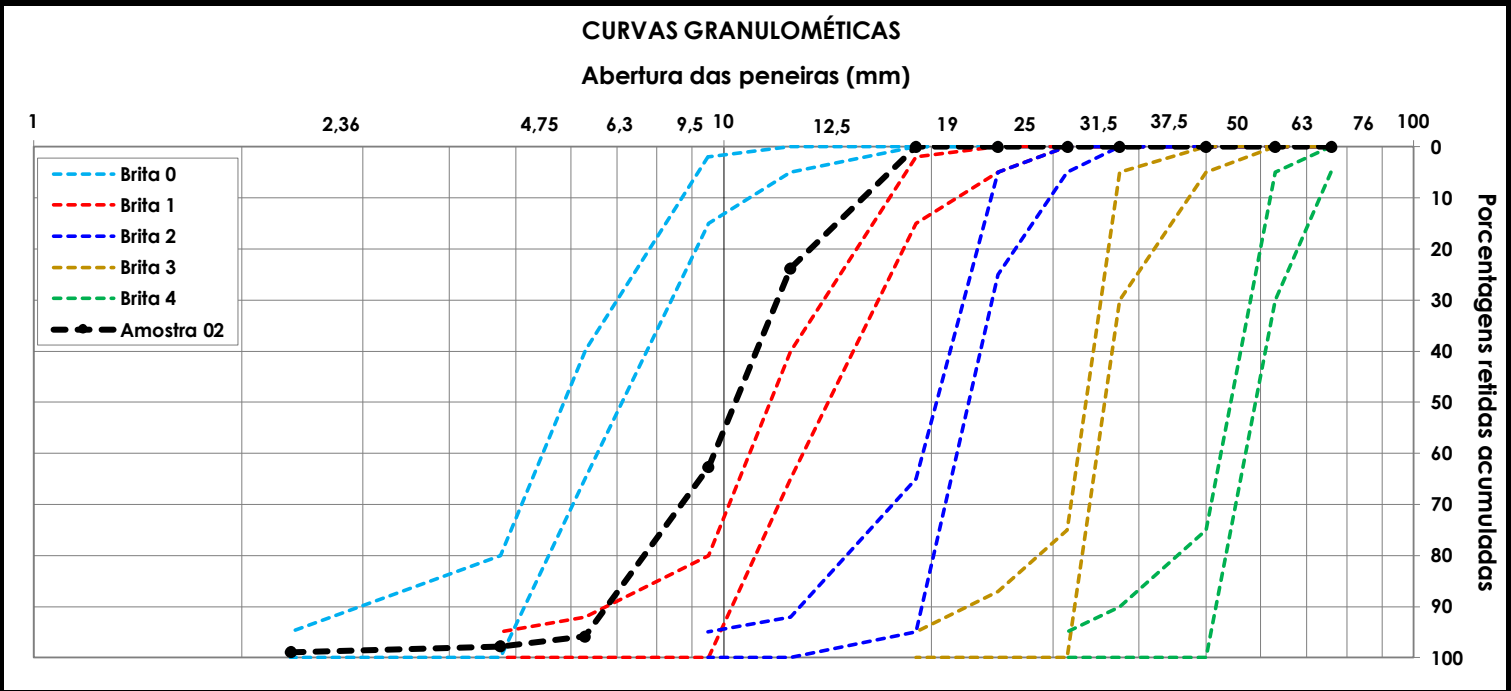
Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE L			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Brita Nº 1 Comercial de Rio Branco
Observações			

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADO GRAÚDO

1) COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR NM 248:2003											Data:		
Abertura Peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem da massa retida (%)					Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas					
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	variação <4%	média	acumulada	Brita Nº 0 4,75 / 12,5	Brita Nº 1 9,5 / 25	Brita Nº 2 19 / 31,5	Brita Nº 3 25 / 50	Brita Nº 4 37,5 / 75	
75	-	-	-	-	-	-	-					0 - 5	
63	-	-	-	-	-	-	-					5 - 30	
50	-	-	-	-	-	-	-				0 - 5	75 - 100	
37,5	-	-	-	-	-	-	-				5 - 30	90 - 100	
31,5	-	-	-	-	-	-	-			0 - 5	75 - 100	95 - 100	
25	-	-	-	-	-	-	-		0 - 5	5 - 25	87 - 100		
19	-	-	-	-	-	-	-		2 - 15	65 - 95	95 - 100		
12,5	477,14	476,87	23,80	23,77	0,02	23,79	23,79	0 - 5	40 - 65	92 - 100			
9,5	803,06	757,59	40,05	37,77	2,29	38,91	62,70	2 - 15	80 - 100	92 - 100			
6,3	642,57	688,29	32,05	34,31	2,26	33,18	95,88	40 - 65	92 - 100	95 - 100			
4,75	38,22	38,80	1,91	1,93	0,03	1,92	97,80	80 - 100	95 - 100				
2,36	22,47	22,64	1,12	1,13	0,01	1,12	98,93	95 - 100					
1,18	-	-	-	-	-	-	98,93						
0,6	-	-	-	-	-	-	98,93						
0,3	-	-	-	-	-	-	98,93						
0,15	-	-	-	-	-	-	98,93						
Fundo	21,44	21,67	1,07	1,08	0,01	1,07	100,00						
Total (g)	2.004,9	2.005,9	Módulo de Finura = 6,55					Diâmetro Máximo (mm) = 12,5					
Inicial (g)	2.015,0	2.012,0											
%	0,50%	0,31%											



OBS:

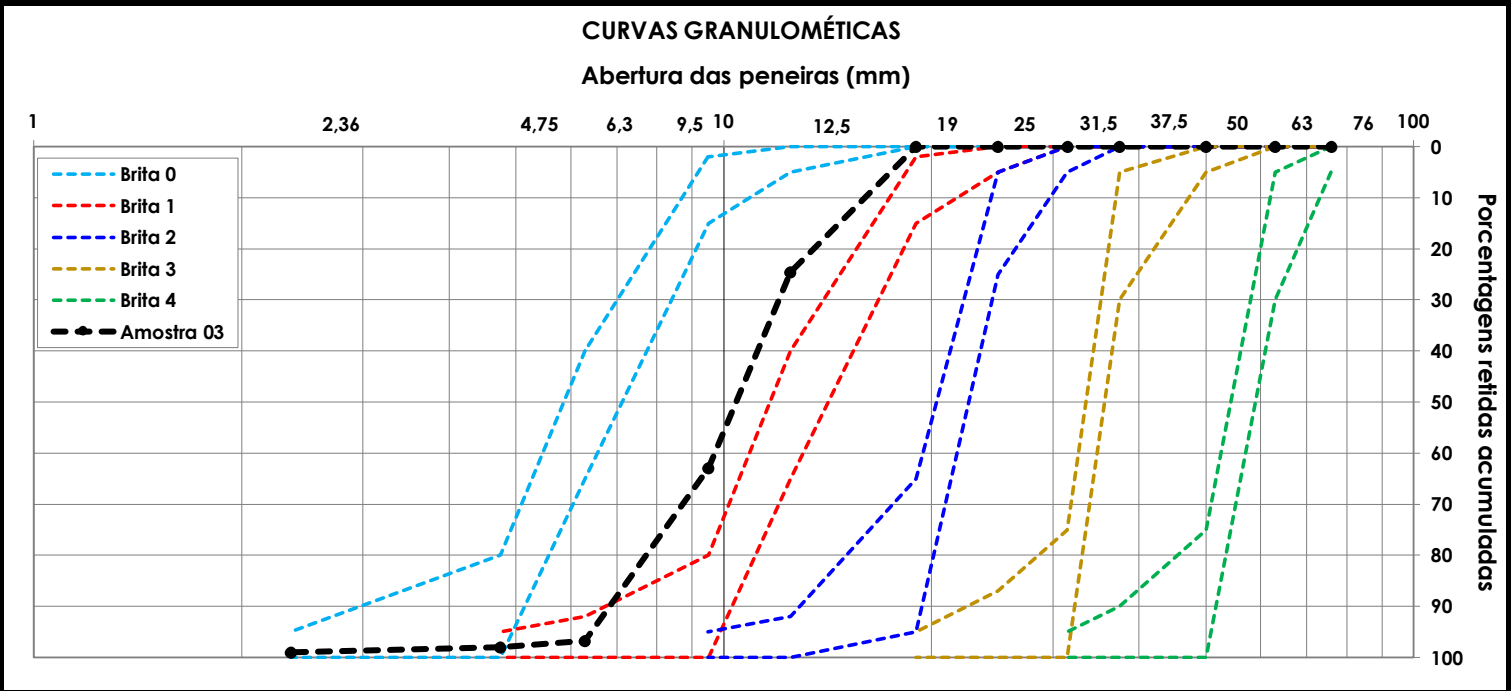
Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APÊNDICE L			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Brita Nº 1 Comercial de Rio Branco
Observações			

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADO GRAÚDO

1) COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR NM 248:2003										Data:			
Abertura Peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem da massa retida (%)					Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas					
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	variação <4%	média	acumulada	Brita Nº 0 4,75 / 12,5	Brita Nº 1 9,5 / 25	Brita Nº 2 19 / 31,5	Brita Nº 3 25 / 50	Brita Nº 4 37,5 / 75	
75	-	-	-	-	-	-	-					0 - 5	
63	-	-	-	-	-	-	-					5 - 30	
50	-	-	-	-	-	-	-				0 - 5	75 - 100	
37,5	-	-	-	-	-	-	-				5 - 30	90 - 100	
31,5	-	-	-	-	-	-	-			0 - 5	75 - 100	95 - 100	
25	-	-	-	-	-	-	-		0 - 5	5 - 25	87 - 100		
19	-	-	-	-	-	-	-		2 - 15	65 - 95	95 - 100		
12,5	504,34	481,93	25,16	24,02	1,14	24,59	24,59	0 - 5	40 - 65	92 - 100			
9,5	774,68	762,81	38,64	38,02	0,62	38,33	62,92	2 - 15	80 - 100	92 - 100			
6,3	660,79	693,91	32,96	34,59	1,62	33,77	96,69	40 - 65	92 - 100	95 - 100			
4,75	29,08	23,50	1,45	1,17	0,28	1,31	98,00	80 - 100	95 - 100				
2,36	16,56	22,68	0,83	1,13	0,30	0,98	98,98	95 - 100					
1,18	-	-	-	-	-	-	98,98						
0,6	-	-	-	-	-	-	98,98						
0,3	-	-	-	-	-	-	98,98						
0,15	-	-	-	-	-	-	98,98						
Fundo	19,32	21,56	0,96	1,07	0,11	1,02	100,00						
Total (g)	2.004,8	2.006,4	Módulo de Finura = 6,56					Diâmetro Máximo (mm) = 12,5					
Inicial (g)	2.009,0	2.013,0											
%	0,21%	0,33%											



OBS:

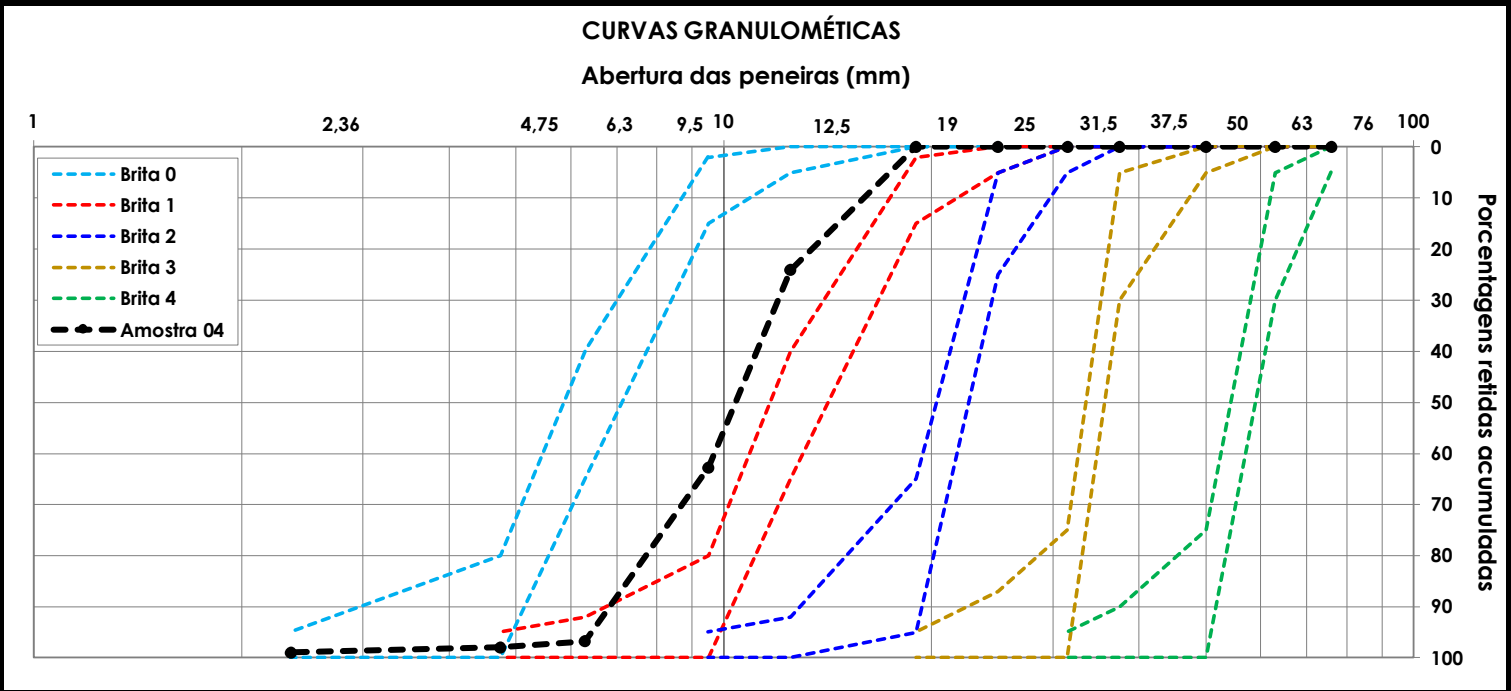
Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada ≤ 5%

APÊNDICE L			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Brita Nº 1 Comercial de Rio Branco
Observações			

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADO GRAÚDO

1) COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR NM 248:2003											Data:		
Abertura Peneiras (mm)	Massa retida (g)		Porcentagem da massa retida (%)					Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas					
	m ₁	m ₂	m ₁	m ₂	variação <4%	média	acumulada	Brita Nº 0 4,75 / 12,5	Brita Nº 1 9,5 / 25	Brita Nº 2 19 / 31,5	Brita Nº 3 25 / 50	Brita Nº 4 37,5 / 75	
75	-	-	-	-	-	-	-					0 - 5	
63	-	-	-	-	-	-	-					5 - 30	
50	-	-	-	-	-	-	-				0 - 5	75 - 100	
37,5	-	-	-	-	-	-	-				5 - 30	90 - 100	
31,5	-	-	-	-	-	-	-			0 - 5	75 - 100	95 - 100	
25	-	-	-	-	-	-	-		0 - 5	5 - 25	87 - 100		
19	-	-	-	-	-	-	-		2 - 15	65 - 95	95 - 100		
12,5	493,21	472,51	24,53	23,58	0,95	24,05	24,05	0 - 5	40 - 65	92 - 100			
9,5	784,72	768,30	39,03	38,34	0,69	38,68	62,74	2 - 15	80 - 100	92 - 100			
6,3	670,37	693,50	33,34	34,61	1,27	33,97	96,71	40 - 65	92 - 100	95 - 100			
4,75	26,33	23,61	1,31	1,18	0,13	1,24	97,96	80 - 100	95 - 100				
2,36	16,35	23,64	0,81	1,18	0,37	1,00	98,95	95 - 100					
1,18	-	-	-	-	-	-	98,95						
0,6	-	-	-	-	-	-	98,95						
0,3	-	-	-	-	-	-	98,95						
0,15	-	-	-	-	-	-	98,95						
Fundo	19,73	22,25	0,98	1,11	0,13	1,05	100,00						
Total (g)	2.010,7	2.003,8	Módulo de Finura = 6,55					Diâmetro Máximo (mm) = 12,5					
Inicial (g)	2.023,0	2.017,0											
%	0,61%	0,65%											



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

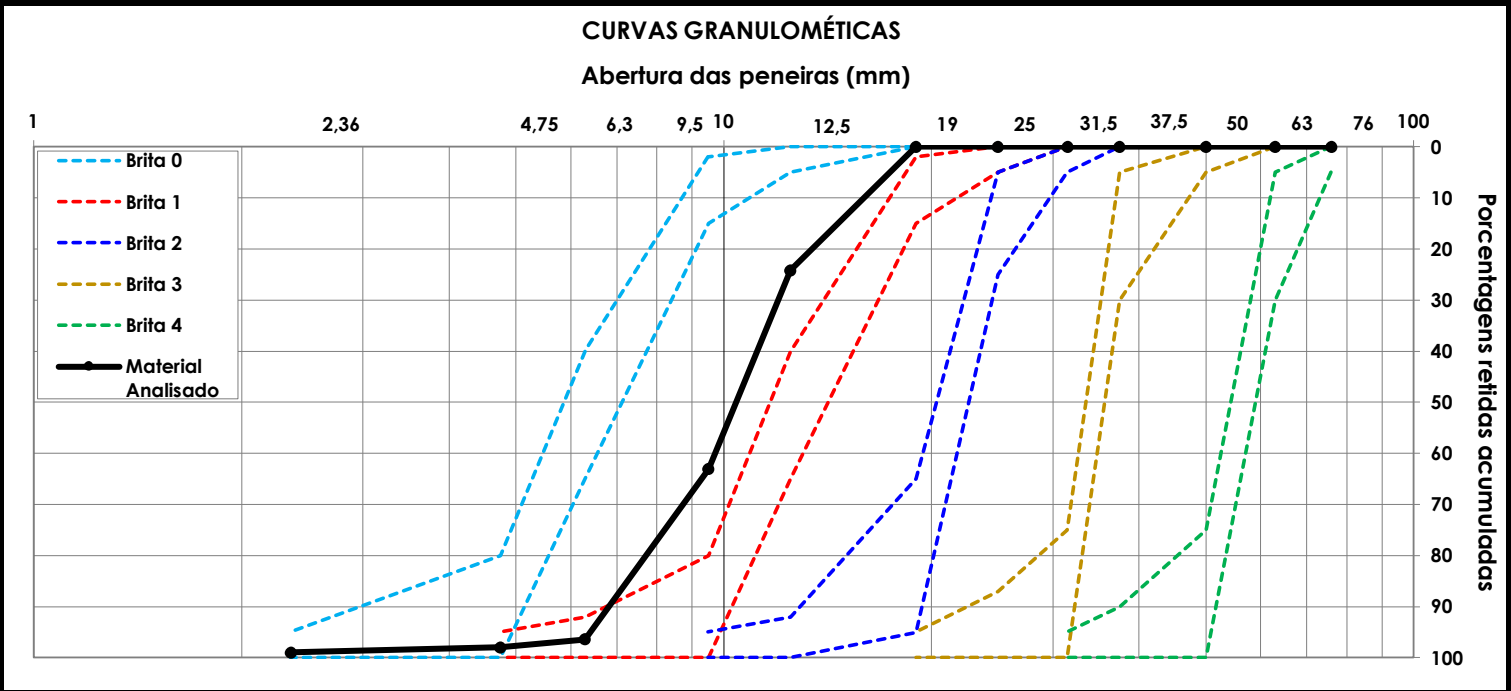
Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada ≤ 5%

APÊNDICE L			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Brita Nº 1 Comercial de Rio Branco
Observações			

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADO GRAÚDO

1) COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO - NBR NM 248:2003

Abertura Peneiras (mm)	Porcentagem da massa retida (%)							Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas				
	média das amostras				variação <4%	média geral	acumulada	Brita Nº 0 4,75 / 12,5	Brita Nº 1 9,5 / 25	Brita Nº 2 19 / 31,5	Brita Nº 3 25 / 50	Brita Nº 4 37,5 / 75
	E1	E2	E3	E4								
75	-	-	-	-	-	-	-					0 - 5
63	-	-	-	-	-	-	-					5 - 30
50	-	-	-	-	-	-	-				0 - 5	75 - 100
37,5	-	-	-	-	-	-	-				5 - 30	90 - 100
31,5	-	-	-	-	-	-	-			0 - 5	75 - 100	95 - 100
25	-	-	-	-	-	-	-		0 - 5	5 - 25	87 - 100	
19	-	-	-	-	-	-	-		2 - 15	65 - 95	95 - 100	
12,5	24,25	23,79	24,59	24,05	0,80	24,17	24,17	0 - 5	40 - 65	92 - 100		
9,5	39,59	38,91	38,33	38,68	1,26	38,88	63,05	2 - 15	80 - 100	92 - 100		
6,3	32,54	33,18	33,77	33,97	1,43	33,37	96,42	40 - 65	92 - 100	95 - 100		
4,75	1,72	1,92	1,31	1,24	0,68	1,55	97,97	80 - 100	95 - 100			
2,36	0,95	1,12	0,98	1,00	0,17	1,01	98,98	95 - 100				
1,18	-	-	-	-	-	-	98,98					
0,6	-	-	-	-	-	-	98,98					
0,3	-	-	-	-	-	-	98,98					
0,15	-	-	-	-	-	-	98,98					
Fundo	0,95	1,07	1,02	1,05	0,12	1,02	100,00					
Total (g)	-	-	Módulo de Finura = 6,56					Diâmetro Máximo (mm) = 12,5				
Inicial (g)	-	-										
%	-	-										



OBS:

Módulo finura = Σ % retidas acumuladas, nas peneiras da serie normal / 100

Diâmetro máximo = abertura da peneira na qual apresenta % retida acumulada \leq 5%

APĚNDICE M

Interessado		Registro	
Procedência		Material	Brita Nº 1 Comercial de Rio Branco
Observações			

ENSAIOS FÍSICOS DE AGREGADO GRAÚDO

2) DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE E ABSORÇÃO DE ÁGUA (NBR 16917)	Data:
---	-------

Data:

Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	MÉDIA
massa do recipiente vazio (g);	-	300	300	300	300	300	300	300	300	300,0
massa seca em estufa + recipiente (g)	-	3295	3000	3180,0	3212,0	3207,0	3056,5	3155,0	3210,0	3.164,4
massa seca em estufa (105 ± 5) °C (g)	mA	2995,0	2700,0	2880,0	2912,0	2907,0	2756,5	2855,0	2910,0	2.864,4
massa do recipiente + massa sss	-	3310,0	3015,0	3195,0	3229,0	3221,5	3070,5	3171,0	3226,0	3.179,8
massa sss (g);	mB	3010,0	2715,0	2895,0	2929,0	2921,5	2770,5	2871,0	2926,0	2.879,8
massa agregado + cesto imersos (g);	-	2545,0	2360,0	2474,0	2494,0	2494,0	2394,0	2460,0	2492,0	2.464,1
massa cesto imerso (g);	-	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0	660,0
massa submersa em água sss (g);	mC	1885,0	1700,0	1814,0	1834,0	1834,0	1734,0	1800,0	1832,0	1.804,1
absorção de água (%)	Abs	0,50	0,56	0,52	0,58	0,50	0,51	0,56	0,55	0,53
densidade agregado seco (g/cm³)	Ps	2,662	2,660	2,664	2,659	2,673	2,659	2,666	2,660	2,663
densidade agregado SSS (g/cm³)	Psss	2,676	2,675	2,678	2,675	2,686	2,673	2,681	2,675	2,677

3) DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA (NBR 16972)	Data:
---	-------

Data:

Amostras	Siglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	MÉDIA
massa material seco + recipiente (kg)	mar	30,56	30,67	30,88	30,65	30,58	30,86	30,64	30,61	30,70
massa recipiente vazio (kg)	mr	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26	9,26
massa material seco (kg)	ms	21,30	21,41	21,62	21,39	21,32	21,60	21,38	21,35	21,44
volume do recipiente (dm3)	V	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,00
dens. água na temp. do banho (g/cm3)	Pa	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985	0,9985
massa unitária do agregado (g/cm3)	Pap	1,420	1,427	1,441	1,426	1,421	1,440	1,425	1,423	1,429
índice de vazios (%)	Ev	46,60	46,33	45,81	46,37	46,56	45,84	46,41	46,48	46,30

4) DETERMINAÇÃO DO MATERIAL FINO PASSANTE NA PENEIRA DE 75 µm POR LAVAGEM (NBR 16973)	Data:
---	-------

Data:

Amostras	Síglas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	MÉDIA
massa inicial da amostra seca (g)	mi	2500,05	2500,11	2500,08	2501,61	2500,37	2500,79	2500,35	2500,93	2.500,54
massa da amostra seca após a	mf	2481,63	2478,02	2481,98	2486,01	2479,66	2485,31	2482,13	2481,96	2.482,09
quantidade de material mais fino que passa na peneira de 75 µm, por lavagem (%)	m	0,74	0,88	0,72	0,62	0,83	0,62	0,73	0,76	0,74

OBS.:

RESUMO DE RESULTADOS MÉDIOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

Absorção de água (%)	Massa específica (g/cm3)			Índice de Vazios (%)	Material pulver. (%)	Abrasão los Angeles (%)	Índice de forma do agregado	Reação Álcis Agregado	Granulometria		
	Seca (Real)	Sat. Sup. Seca (SSS)	Unitária (Apar.)						Módulo Finura	Diâmetro Máximo	Classific. De Faixa
0,53	2,663	2,677	1,429	46,30	0,74	<50%	-	-	6,56	12,5	Brita Nº 1
NBR 16917			NBR 16972		NBR 16973	NBR 16974	NBR 7809	NBR 15577	NBR NM 248		

APÊNDICES - CONCRETOS

APÊNDICE N			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Concreto produzido do estudo
Observações			
ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO			

1) MÉTODO DE DOSAGEM DO CONCRETO - MÉTODO DO IBRACOM				Data:
Os limites de aplicação conhecidos do Método do IBRACON			Unidades	Fórmulas
fck	resistência à compressão	$5\text{MPa} \leq fck \leq 150\text{MPa}$	MPa	-
a/c	relação água/cimento	$0,15 \leq a/c \leq 1,50$	-	-
S	abatimento (slump)	$0\text{mm} \leq S \leq \text{autoadensável}$	mm	-
Yconcreto	massa específica do concreto	$> 1500\text{kg/m}^3$	kg/m³	$\gamma_{conc.} = \frac{m_{conc.}}{Vol_{conc.}}$
α	teor de argamassa seca	$30\% < \alpha < 90\%$	%	$\alpha = \frac{1+a}{1+m} = \frac{1+a}{1+a+p}$
D.max.	dimensão máxima do agregado graúdo	$4,8\text{mm} \leq D_{max} \leq 100\text{mm}$	mm	-
H	relação água/ materiais secos	$5\% < H < 12\%$	%	$H = \frac{a/c}{1+m}$
MF	módulo de finura do agregado	qualquer	-	-
-	granulometria dos agregados	qualquer	-	-
c	cimento unitário		kg	-
a	relação agregado miúdo seco/cimento		kg/kg	$a = [\alpha(1+m)] - 1$
p	relação agregado graúdo seco/cimento		kg/kg	-
m	relação agregados secos/cimento		kg/kg	$m = a + p$
C	consumo de cimento por m3 de concreto adensado em kg/m3		kg/m³	$C = \frac{\gamma_{concreto}}{1+a+p+a/c}$

Classificação do concreto Desejado (NBR 8953)					Dados de Projeto		
Massa Específica (kg/m³)	Leve	$\gamma < 2.000$	CL		Teor de argamassa seca (%)	α	47
	Normal	$2.000 < \gamma < 2.800$	C	X	cimento unitário	c	1
	Pesado	$\gamma > 2.800$	CD		Fator agregados secos/cimento	m	4
Resistência à compressão (MPa)			fck	25	Fator agr. miúdo seco/cimento	a	1,35
Abatimento (slump) (mm) (±20)			S	100	Fator agr. graúdo seco/cimento	p	2,65
Nomenclatura do Concreto Desejado			C25 S100		Fator água/cimento	a/c	0,5
					Fator água/ materiais secos (%)	H	10

2) TRAÇOS PROJETADO										
% Vidro	UNITÁRIO					MASSA (kg)				
	Cimen.	Areia	Vidro	Brita	Água	Cimen.	Areia	Vidro	Brita	Água
	c	a	v	p	a/c	c	a	v	p	w
0	1	1,35	0	2,65	0,5	20	27	0	53	10
5	1	1,2825	0,0675	2,65	0,5	20	25,65	1,35	53	10
10	1	1,215	0,135	2,65	0,5	20	24,3	2,7	53	10
15	1	1,1475	0,2025	2,65	0,5	20	22,95	4,05	53	10
20	1	1,08	0,27	2,65	0,5	20	21,6	5,4	53	10

3) TRAÇOS EXECUTADO										
% Vidro	Cimen.	Areia	Vidro	Brita	Água	Fator a/c	Fator H (%)	Datas		
	c	a	v	p	w			Concretagem	7 dias	28 dias
0	1	1,35	0	2,65	-	-	-	-	-	-
0	20	27	0	53	11	0,55	11	14/04/2021	21/04/2021	12/05/2021
0	20	27	0	53	11,5	0,575	11,5	22/04/2021	29/04/2021	20/05/2021
0	20	27	0	53	10,5	0,525	10,5	25/05/2021	01/06/2021	22/06/2021
5	1	1,2825	0,0675	2,65	-	-	-	-	-	-
5	20	25,65	1,35	53	10,5	0,525	10,5	29/04/2021	06/05/2021	27/05/2021
5	20	25,65	1,35	53	10,5	0,525	10,5	27/05/2021	03/06/2021	24/06/2021
10	1	1,215	0,135	2,65	-	-	-	-	-	-
10	20	24,3	2,7	53	10,35	0,5175	10,35	04/05/2021	11/05/2021	01/06/2021
10	20	24,3	2,7	53	10,5	0,525	10,5	01/06/2021	08/06/2021	29/06/2021
15	1	1,1475	0,2025	2,65	-	-	-	-	-	-
15	20	22,95	4,05	53	10,6	0,53	10,6	13/05/2021	20/05/2021	10/06/2021
15	20	22,95	4,05	53	10,5	0,525	10,5	03/06/2021	10/06/2021	01/07/2021
20	1	1,08	0,27	2,65	-	-	-	-	-	-
20	20	21,6	5,4	53	10,25	0,5125	10,25	18/05/2021	25/05/2021	15/06/2021
20	20	21,6	5,4	53	10,5	0,525	10,5	08/06/2021	15/06/2021	06/07/2021

APÊNDICE N			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Concreto produzido do estudo
Observações			

ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO

4) BETONADAS									
Nº	% Vidro	Datas			Quantidade de Corpos de Prova				Nº CP's
		Betonada	Rompimentos		Total	Rompimento		Massa esp. Absor. e Vazios	
			7dias	28dias		7dias	28dias		
B1	0	14/04/2021	21/04/2021	12/05/2021	20	8	8	4	100
B2	0	22/04/2021	29/04/2021	20/05/2021	20	8	8	4	200
B3	5	29/04/2021	06/05/2021	27/05/2021	20	8	8	4	300
B4	10	04/05/2021	11/05/2021	01/06/2021	20	8	8	4	400
B5	15	13/05/2021	20/05/2021	10/06/2021	20	8	8	4	500
B6	20	18/05/2021	25/05/2021	15/06/2021	20	8	8	4	600
B7	0	25/05/2021	01/06/2021	22/06/2021	20	8	8	4	700
B8	5	27/05/2021	03/06/2021	24/06/2021	20	8	8	4	800
B9	10	01/06/2021	08/06/2021	29/06/2021	20	8	8	4	900
B10	15	03/06/2021	10/06/2021	01/07/2021	20	8	8	4	1000
B11	20	08/06/2021	15/06/2021	06/07/2021	20	8	8	4	1100

5) MASSA ESEPCÍFICA DO CONCRETO FRESCO (NBR 9833) E ABATIMENTO "SLUMPTTEST" (NBR NM 67)

Dados do traço						Abatimento	Massa específica do concreto fresco (Pap)				
% Vidro	Betonadas		Água	Fator a/c	Fator H	SlumpTest	Amostras		Vol. Recip.	Massa Espec.	
							Nº	Massa kg		Unit.	Média
	Nº	Datas	dm³	%	mm				kg		
0	B1	14/04/2021	11	0,55	11	100	A1	7,025	3,065	2,292	2,299
							A2	7,065	3,065	2,305	
	B2	22/04/2021	11,5	0,575	11,5	120	A3	7,055	3,065	2,302	2,304
							A4	7,070	3,065	2,307	
	B7	25/05/2021	10,5	0,525	10,5	90	A5	7,085	3,065	2,312	2,315
							A6	7,105	3,065	2,318	
5	B3	29/04/2021	10,5	0,525	10,5	90	A7	7,110	3,065	2,320	2,323
							A8	7,130	3,065	2,326	
	B8	27/05/2021	10,5	0,525	10,5	90	A9	7,125	3,065	2,325	2,329
							A10	7,150	3,065	2,333	
10	B4	04/05/2021	10,35	0,5175	10,35	80	A11	7,166	3,065	2,338	2,340
							A12	7,180	3,065	2,343	
	B9	01/06/2021	10,5	0,525	10,5	90	A13	7,145	3,065	2,331	2,333
							A14	7,155	3,065	2,334	
15	B5	13/05/2021	10,6	0,53	10,6	100	A15	7,130	3,065	2,326	2,331
							A16	7,160	3,065	2,336	
	B10	03/06/2021	10,5	0,525	10,5	90	A17	7,150	3,065	2,333	2,334
							A18	7,155	3,065	2,334	
20	B6	18/05/2021	10,25	0,5125	10,25	90	A19	7,135	3,065	2,328	2,331
							A20	7,155	3,065	2,334	
	B11	08/06/2021	10,5	0,525	10,5	105	A21	7,130	3,065	2,326	2,329
							A22	7,145	3,065	2,331	

Observações:

APÊNDICE N													
Interessado								Registro					
Procedência								Material	Concreto produzido do estudo				
Observações													
ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO													
6) MASSA ESPECÍFICA CONCRETO RÍGIDO, ABSORÇÃO D'ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIOS (NBR 9778)													
% Vidro	Betonada	Datas			CP's	massa da amostra (g)			absorção de água	índice de vazios	massa espec. (g/cm³)		
		28 dias	72h	72h		seca	imersa	saturada			seca	saturada	real
			estufa	imersa									
0	B1	12/05/21	15/05/21	18/05/21	117	3334,6	2076,7	3631,2	8,893	19,077	2,145	2,336	2,651
					118	3349,3	2082,2	3626,3	8,270	17,938	2,169	2,348	2,643
					119	3355,0	2085,2	3647,1	8,706	18,701	2,148	2,335	2,642
					120	3312,8	2067,5	3614,0	9,092	19,476	2,142	2,337	2,660
					média	3338,0	2077,9	3629,7	8,74	18,80	2,151	2,339	2,649
	B2	20/05/21	23/05/21	26/05/21	217	3303,3	2058,1	3608,7	9,246	19,698	2,130	2,327	2,653
					218	3320,5	2065,2	3617,0	8,930	19,107	2,140	2,331	2,645
					219	3335,9	2070,4	3614,9	8,365	18,067	2,160	2,341	2,636
					220	3325,46	2069,47	3612,36	8,627	18,595	2,155	2,341	2,648
					média	3321,3	2065,8	3613,3	8,79	18,87	2,146	2,335	2,645
	B7	22/06/21	25/06/21	28/06/21	717	3326,15	2059,63	3609,44	8,517	18,279	2,146	2,329	2,626
					718	3331,28	2066,4	3612,53	8,443	18,190	2,155	2,336	2,634
					719	3297,21	2051,72	3591,84	8,935	19,130	2,141	2,332	2,647
					720	3316,85	2055,87	3596,71	8,438	18,163	2,153	2,334	2,630
					média	3317,9	2058,4	3602,6	8,58	18,44	2,149	2,333	2,634
5	B3	27/05/21	30/05/21	02/06/21	317	3368,34	2089,9	3649,77	8,355	18,042	2,159	2,340	2,635
					318	3369,63	2084,79	3640,17	8,029	17,394	2,166	2,340	2,623
					319	3366,84	2094,05	3657,7	8,639	18,601	2,153	2,339	2,645
					320	3369,04	2090,21	3652,21	8,405	18,129	2,157	2,338	2,634
					média	3368,5	2089,7	3650,0	8,36	18,04	2,159	2,339	2,634
	B8	24/06/21	27/06/21	30/06/21	817	3366,31	2087,6	3642,68	8,210	17,772	2,165	2,342	2,633
					818	3368,81	2091,84	3656,12	8,528	18,367	2,154	2,337	2,638
					819	3367,19	2088,32	3648,44	8,353	18,028	2,158	2,339	2,633
					820	3371,83	2091,92	3649,34	8,230	17,819	2,165	2,343	2,634
					média	3368,5	2089,9	3649,2	8,33	18,00	2,160	2,340	2,635
10	B4	01/06/21	04/06/21	07/06/21	417	3405,5	2118,43	3673,9	7,881	17,255	2,189	2,362	2,646
					418	3413,92	2121,59	3679,84	7,789	17,065	2,191	2,362	2,642
					419	3421,96	2122,29	3684,92	7,684	16,828	2,190	2,358	2,633
					420	3414,05	2120,84	3680,18	7,795	17,067	2,189	2,360	2,640
					média	3413,9	2120,8	3679,7	7,79	17,05	2,190	2,360	2,640
	B9	29/06/21	02/07/21	05/07/21	917	3423,1	2128,44	3688,32	7,748	17,003	2,194	2,364	2,644
					918	3417,09	2124,27	3685,99	7,869	17,218	2,188	2,360	2,643
					919	3428,86	2132,72	3692,15	7,679	16,884	2,199	2,368	2,645
					920	3411,37	2123,6	3680,66	7,894	17,295	2,191	2,364	2,649
					média	3420,1	2127,3	3686,8	7,80	17,10	2,193	2,364	2,645
15	B5	10/06/21	13/06/21	16/06/21	517	3343,41	2081,84	3619,83	8,268	17,973	2,174	2,354	2,650
					518	3332,63	2070,86	3609,37	8,304	17,988	2,166	2,346	2,641
					519	3299,03	2040,88	3559,96	7,909	17,177	2,172	2,343	2,622
					520	3364,67	2099,78	3657,31	8,697	18,789	2,160	2,348	2,660
					média	3334,9	2073,3	3611,6	8,29	17,98	2,168	2,348	2,643
	B10	01/07/21	04/07/21	07/07/21	1017	3317,37	2055,83	3583,74	8,030	17,434	2,171	2,346	2,630
					1018	3360,35	2095,95	3650,2	8,626	18,649	2,162	2,349	2,658
					1019	3338,94	2075,6	3616,67	8,318	18,022	2,167	2,347	2,643
					1020	3295,14	2035,84	3550,18	7,740	16,842	2,176	2,344	2,617
					média	3328,0	2065,8	3600,2	8,18	17,74	2,169	2,346	2,637
20	B6	15/06/21	18/06/21	21/06/21	617	3377,57	2067,49	3652,57	8,142	17,349	2,131	2,304	2,578
					618	3383,6	2075,51	3657,06	8,082	17,291	2,139	2,312	2,587
					619	3412,37	2114,85	3677,58	7,772	16,971	2,184	2,353	2,630
					620	3407,53	2107,7	3674,08	7,822	17,017	2,175	2,346	2,622
					média	3395,3	2091,4	3665,3	7,95	17,16	2,157	2,329	2,604
	B11	06/07/21	09/07/21	12/07/21	1117	3420,31	2120,41	3685,7	7,759	16,954	2,185	2,355	2,631
					1118	3394,92	2088,89	3670,15	8,107	17,405	2,147	2,321	2,599
					1119	3382,23	2073,13	3662,37	8,283	17,627	2,128	2,304	2,584
					1120	3407,62	2114,65	3677,92	7,932	17,291	2,180	2,353	2,636
					média	3401,3	2099,3	3674,0	8,02	17,32	2,160	2,333	2,612

APÊNDICE N			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Concreto produzido do estudo
Observações			
ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO			

1ª Betonada - B1 - 0% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	101	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	162,7	23,951
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		102	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	164,7	24,246
					103	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	1	164,7	23,987
Cimento	c	1	20		104	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	168,6	24,820
Areia	a	1,35	27		105	18,9	9,3	9,2	9,25	2,04	1	162,7	24,211
Vidro	v	0	0		106	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	164,7	23,987
Brita	b	2,65	53		107	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	176,5	25,706
Água	a/c	0,55	11		108	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	166,7	24,279
Dados do concreto					28	109	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	194,1
Abatimento (mm)			100	110		19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	176,5	25,983
fck médio 7 dias (MPa)			24,398	111		18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	174,5	25,689
fck médio 28 dias (MPa)			26,018	112		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	182,4	26,852
ρ _{ap}	2,299	g/cm³	A (%)	113		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	186,3	27,426
ρ _s	2,151	g/cm³	8,74	114		19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	176,5	25,706
ρ _{sat}	2,339	g/cm³	Iv (%)	115		18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	141,2	20,786
ρ _r	2,649	g/cm³	18,80	116		19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	186,3	27,133

2ª Betonada - B2 - 0% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga (kN)	Tensão fck (MPa)
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.		
Traço				7	201	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	160,9	23,434
Material	Sigla	Unitário	Massa		202	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	1	160,9	23,434
		(kg)	(kg)		203	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	160,9	23,686
Cimento	c	1	20		204	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	1	158,7	23,113
Areia	a	1,35	27		205	19	9,45	9,35	9,4	2,02	1	162,9	23,473
Vidro	v	0	0		206	19,2	9,4	9,2	9,3	2,06	1	167,1	24,599
Brita	b	2,65	53		207	19	9,3	9,4	9,35	2,03	1	156,6	22,808
Água	a/c	0,575	11,5		208	18,9	9,4	9,25	9,325	2,03	1	156,6	22,930
Dados do concreto					28	209	18,85	9,3	9,3	9,3	2,03	1	175,1
Abatimento (mm)			120	210		18,85	9,3	9,3	9,3	2,03	1	175,8	25,880
fck médio 7 dias (MPa)			23,435	211		18,85	9,3	9,3	9,3	2,03	1	182,1	26,807
fck médio 28 dias (MPa)			25,767	212		19,1	9,3	9,4	9,35	2,04	1	179,8	26,186
ρ _{ap}	2,304	g/cm³	A (%)	213		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	175,6	25,850
ρ _s	2,146	g/cm³	8,79	214		19	9,3	9,4	9,35	2,03	1	180,7	26,318
ρ _{sat}	2,335	g/cm³	Iv (%)	215		18,9	9,3	9,4	9,35	2,02	1	179,1	26,084
ρ _r	2,645	g/cm³	18,87	216		18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	157,8	23,230

7ª Betonada - B7 - 0% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	701	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	169,1	24,628
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		702	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	1	169,2	24,643
					703	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	169,1	24,894
Cimento	c	1	20		704	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	1	167	24,322
Areia	a	1,35	27		705	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	171,1	24,919
Vidro	v	0	0		706	19,1	9,4	9,2	9,3	2,05	1	175,3	25,806
Brita	b	2,65	53		707	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	165,6	24,118
Água	a/c	0,525	10,5		708	18,9	9,4	9,2	9,3	2,03	1	165,8	24,408
Dados do concreto					28	709	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	185,1
Abatimento (mm)			90	710		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	185,3	27,278
fck médio 7 dias (MPa)			24,717	711		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	191,1	28,132
fck médio 28 dias (MPa)			27,456	712		19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	189,8	27,643
ρ _{ap}	2,315	g/cm³	A (%)	713		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	185,4	27,293
ρ _s	2,149	g/cm³	8,58	714		19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	190,2	27,701
ρ _{sat}	2,333	g/cm³	Iv (%)	715		19,05	9,4	9,3	9,35	2,04	1	189,1	27,541
ρ _r	2,634	g/cm³	18,44	716		19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	184,1	27,102

APÊNDICE N			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Concreto produzido do estudo
Observações			
ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO			

3ª Betonada - B3 - 5% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	301	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	141,2	20,565
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		302	19	9,4	9,2	9,3	2,04	1	186,3	27,426
					303	19	9,6	9,2	9,4	2,02	1	170,6	24,583
Cimento	c	1	20		304	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	184,3	27,131
Areia	a	1,2825	25,65		305	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	168,6	24,555
Vidro	v	0,0675	1,35		306	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	184,3	27,131
Brita	b	2,65	53		307	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	1	182,4	27,143
Água	a/c	0,525	10,5		308	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	176,5	25,983
Dados do concreto				28	309	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	198,2	28,866
Abatimento (mm)			90		310	19	9,3	9,2	9,25	2,05	1	196,1	29,181
fck médio 7 dias (MPa)			25,565		311	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	200,8	29,245
fck médio 28 dias (MPa)			28,888		312	19	9,4	9,2	9,3	2,04	1	195,5	28,780
ρ _{ap}	2,323	g/cm³	A (%)		313	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	184,5	27,161
ρ _s	2,159	g/cm³	8,36		314	19,15	9,4	9,3	9,35	2,05	1	205,5	29,929
ρ _{sat}	2,339	g/cm³	Iv (%)		315	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	195,7	28,809
ρ _r	2,634	g/cm³	18,04		316	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	197,9	29,133

8ª Betonada - B8 - 5% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	801	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	180,2	26,528
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		802	19,1	9,35	9,25	9,3	2,05	1	190,1	27,985
					803	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	183,5	27,013
Cimento	c	1	20		804	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	188,4	27,735
Areia	a	1,2825	25,65		805	19,1	9,35	9,2	9,275	2,06	1	172,6	25,546
Vidro	v	0,0675	1,35		806	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	188	27,676
Brita	b	2,65	53		807	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	186,6	27,177
Água	a/c	0,525	10,5		808	19	9,35	9,3	9,325	2,04	1	180	26,356
Dados do concreto				28	809	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	200,3	29,172
Abatimento (mm)			90		810	19	9,3	9,2	9,25	2,05	1	197,2	29,345
fck médio 7 dias (MPa)			27,002		811	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	196,3	28,590
fck médio 28 dias (MPa)			29,265		812	19	9,4	9,25	9,325	2,04	1	201,9	29,563
ρ _{ap}	2,329	g/cm³	A (%)		813	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	197,6	29,089
ρ _s	2,160	g/cm³	8,33		814	19,15	9,4	9,3	9,35	2,05	1	206,2	30,031
ρ _{sat}	2,340	g/cm³	Iv (%)		815	19	9,3	9,35	9,325	2,04	1	203,0	29,724
ρ _r	2,635	g/cm³	18,00		816	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	194,3	28,603

Observações:

APÊNDICE N			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Concreto produzido do estudo
Observações			
ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO			

4ª Betonada - B4 - 10% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	401	18,8	9,3	9,3	9,3	2,02	1	182,4	26,852
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		402	18,9	9,3	9,2	9,25	2,04	1	184,3	27,425
					403	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	188,2	27,705
Cimento	c	1	20		404	19	9,3	9,2	9,25	2,05	1	176,5	26,265
Areia	a	1,215	24,3		405	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	1	166,7	24,806
Vidro	v	0,135	2,7		406	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	1	194,1	28,884
Brita	b	2,65	53		407	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	152,9	22,509
Água	a/c	0,5175	10,35		408	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	205,9	30,311
Dados do concreto					28	409	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	198,0
Abatimento (mm)			80	410		19,3	9,25	9,25	9,25	2,09	1	214,0	31,845
fck médio 7 dias (MPa)			26,845	411		19,1	9,35	9,3	9,325	2,05	1	199,7	29,241
fck médio 28 dias (MPa)			31,584	412		19,3	9,3	9,3	9,3	2,08	1	221,8	32,652
ρ _{ap}	2,340	g/cm³	A (%)	413		19	9,3	9,25	9,275	2,05	1	211,5	31,303
ρ _s	2,190	g/cm³	7,79	414		19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	1	230,1	33,874
ρ _{sat}	2,360	g/cm³	Iv (%)	415		19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	214,1	31,518
ρ _r	2,640	g/cm³	17,05	416		19,15	9,3	9,3	9,3	2,06	1	224,8	33,093

9ª Betonada - B9 - 10% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	901	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	184,1	26,813
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		902	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	188,4	27,735
					903	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	185,8	27,352
Cimento	c	1	20		904	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	1	180,6	26,875
Areia	a	1,215	24,3		905	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	181,7	26,748
Vidro	v	0,135	2,7		906	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	188,4	27,439
Brita	b	2,65	53		907	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	194,4	28,618
Água	a/c	0,525	10,5		908	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	193,3	28,153
Dados do concreto					28	909	19	9,3	9,25	9,275	2,04	1	208,8
Abatimento (mm)			90	910		19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	1	214,7	31,606
fck médio 7 dias (MPa)			27,467	911		19,1	9,3	9,2	9,25	2,04	1	209,7	31,205
fck médio 28 dias (MPa)			31,365	912		19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	210,2	30,614
ρ _{ap}	2,333	g/cm³	A (%)	913		19	9,3	9,2	9,25	2,05	1	220,5	32,812
ρ _s	2,193	g/cm³	7,80	914		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	208,1	30,635
ρ _{sat}	2,364	g/cm³	Iv (%)	915		19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	222,4	32,391
ρ _r	2,645	g/cm³	17,10	916		19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	208,9	30,753

Observações:

APÊNDICE N			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Concreto produzido do estudo
Observações			
ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO			

5ª Betonada - B5 - 15% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	501	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	186,7	27,485
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		502	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	182	26,793
					503	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	188,7	27,779
Cimento	c	1	20		504	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	1	184,1	27,396
Areia	a	1,1475	22,95		505	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	196,5	28,619
Vidro	v	0,2025	4,05		506	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	183,8	27,058
Brita	b	2,65	53		507	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	169,2	24,908
Água	a/c	0,53	10,6		508	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	184,8	26,915
Dados do concreto					28	509	18,9	9,4	9,25	9,325	2,03	1	171,4
Abatimento (mm)			100	510		19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	214,7	31,269
fck médio 7 dias (MPa)			27,119	511		19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	213,4	31,415
fck médio 28 dias (MPa)			31,017	512		19,15	9,4	9,3	9,35	2,05	1	202,6	29,507
ρ _{ap}	2,331	g/cm³	A (%)	513		19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	211,0	30,730
ρ _s	2,168	g/cm³	8,29	514		19	9,4	9,2	9,3	2,04	1	232,0	34,153
ρ _{sat}	2,348	g/cm³	lv (%)	515		19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	234,0	34,080
ρ _r	2,643	g/cm³	17,98	516		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	216,6	31,886

10ª Betonada - B10 - 15% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
Traço						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)	7	1001	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	190,3	28,015
Cimento	c	1	20		1002	18,9	9,4	9,3	9,35	2,02	1	187,1	27,250
Areia	a	1,1475	22,95		1003	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	189,2	27,853
Vidro	v	0,2025	4,05		1004	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	192,9	28,397
Brita	b	2,65	53		1005	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	193,5	28,182
Água	a/c	0,525	10,5		1006	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	194,5	28,633
					1007	19	9,3	9,2	9,25	2,05	1	185,3	27,574
					1008	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	191,4	27,876
Dados do concreto				28	1009	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	222,8	32,449
Abatimento (mm)			90		1010	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	213,5	31,095
fck médio 7 dias (MPa)			27,972		1011	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	218,4	32,151
fck médio 28 dias (MPa)			32,567		1012	19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	222,6	32,420
ρ _{ap}	2,334	g/cm³	A (%)		1013	19,1	9,4	9,3	9,35	2,04	1	219,1	31,910
ρ _s	2,169	g/cm³	8,18		1014	19	9,4	9,2	9,3	2,04	1	231,9	34,139
ρ _{sat}	2,346	g/cm³	lv (%)		1015	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	227,1	33,075
ρ _r	2,637	g/cm³	17,74		1016	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	226,2	33,299

Observações:

APÊNDICE N			
Interessado		Registro	
Procedência		Material	Concreto produzido do estudo
Observações			
ENSAIOS FÍSICOS DE CONCRETO			

6ª Betonada - B6 - 20% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga	Tensão
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.	(kN)	fck (MPa)
Traço				7	601	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	1	196,1	28,868
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		602	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	1	180,7	26,890
					603	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	203,6	29,972
Cimento	c	1	20		604	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	165,9	24,423
Areia	a	1,08	21,6		605	18,9	9,3	9,25	9,275	2,04	1	172,3	25,502
Vidro	v	0,27	5,4		606	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	1	177,4	26,115
Brita	b	2,65	53		607	19	9,3	9,25	9,275	2,05	1	187,1	27,692
Água	a/c	0,5125	10,25		608	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	1	185,5	27,308
Dados do concreto				28	609	18,9	9,2	9,2	9,2	2,05	1	226,9	34,133
Abatimento (mm)			90		610	19,2	9,4	9,3	9,35	2,05	1	202,5	29,493
fck médio 7 dias (MPa)			27,096		611	19,1	9,3	9,2	9,25	2,06	1	244,8	36,428
fck médio 28 dias (MPa)			33,513		612	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	225,3	33,167
ρ _{ap}	2,331	g/cm³	A (%)		613	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	240,4	35,390
ρ _s	2,157	g/cm³	7,95		614	19,2	9,5	9,2	9,35	2,05	1	220,7	32,143
ρ _{sat}	2,329	g/cm³	lv (%)		615	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	226,9	33,402
ρ _r	2,604	g/cm³	17,16		616	19,05	9,3	9,3	9,3	2,05	1	230,6	33,947

11ª Betonada - B11 - 20% Vidro				Dias	CP's	Dimensões (mm)				Relações		Carga (kN)	Tensão fck (MPa)
						h	d ₁	d ₂	d _{médio}	h/d _{med}	coef.		
Traço				7	1101	18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	179,8	26,469
Material	Sigla	Unitário (kg)	Massa (kg)		1102	19	9,4	9,2	9,3	2,04	1	181,2	26,675
					1103	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	188,3	27,720
Cimento	c	1	20		1104	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	200,4	29,501
Areia	a	1,08	21,6		1105	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	184,5	27,161
Vidro	v	0,27	5,4		1106	19,2	9,3	9,3	9,3	2,06	1	181,7	26,748
Brita	b	2,65	53		1107	19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	203,9	30,017
Água	a/c	0,525	10,5		1108	19,1	9,3	9,3	9,3	2,05	1	184,8	27,205
Dados do concreto					28	1109	19	9,4	9,2	9,3	2,04	1	227,5
Abatimento (mm)			105	1110		19	9,4	9,3	9,35	2,03	1	230,1	33,512
fck médio 7 dias (MPa)			27,687	1111		19,1	9,35	9,25	9,3	2,05	1	232,9	34,286
fck médio 28 dias (MPa)			33,248	1112		18,9	9,3	9,3	9,3	2,03	1	222,1	32,696
ρ _{ap}	2,329	g/cm³	A (%)	1113		19,2	9,3	9,2	9,25	2,08	1	215,8	32,113
ρ _s	2,160	g/cm³	8,02	1114		19	9,3	9,2	9,25	2,05	1	223,4	33,244
ρ _{sat}	2,333	g/cm³	lv (%)	1115		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	224,4	33,034
ρ _r	2,612	g/cm³	17,32	1116		19	9,3	9,3	9,3	2,04	1	228,3	33,609

Observações: