

## **Análise do desempenho do traço de concreto compactado com rolo (CCR), aplicado no sistema bus rapid transit (BRT) de Belém-PA, estudo de caso**

### **Performance analysis of roller compressed concrete (CCR), applied in the bus rapid transit (BRT) system of Belém-PA, case study**

DOI:10.34117/bjdv8n6-296

Recebimento dos originais: 21/04/2022

Aceitação para publicação: 31/05/2022

#### **Elaine Cristina Fidalgo Ferreira**

Graduanda em Engenharia Civil

Instituição: Faculdade Estácio de Belém

Endereço: Av. Gov. José Malcher, 1148, Nazaré, CEP: 66055-260, Belém – PA

E-mail: elaine.fidalgo7@gmail.com

#### **Luiz Carlos Ferreira da Silva Junior**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Faculdade Estácio de Belém

Endereço: Av. Gov. José Malcher, 1148, Nazaré, CEP: 66055-260, Belém – PA

E-mail: roinuj08@hotmail.com

#### **Pedro Luiz da Costa Von-Grapp**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Faculdade Estácio de Belém

Endereço: Av. Gov. José Malcher, 1148, Nazaré, CEP: 66055-260, Belém – PA

E-mail: pedro.vgrapp@gmail.com

#### **Rodrigo Rodrigues da Cunha**

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Pará (IFPA)

Endereço: Departamento de Construção Civil, Bloco: N, Av. Alm. Barroso, 1155,

Marco, CEP: 66093-020, Belém - PA

E-mail: rodrigo.rodrigues@ifpa.edu.br

#### **Ana Carolina Assmar de Lima Rabelo**

Mestre em Engenharia Ambiental

Instituição: Faculdade Estácio de Belém

Endereço: Av. Gov. José Malcher, 1148, Nazaré, CEP: 66055-260, Belém – PA

E-mail: ana.rabelo@estacio.br

### **RESUMO**

O concreto rolado é, usualmente, aplicado em obras hidráulicas e de pavimentação, como objeto deste estudo, será analisado a aplicação do Concreto Compactado a Rolo na camada de sub-base na execução da pavimentação da faixa do BRT (Bus Rapid Transit), que será executado na Rodovia BR-316, localizada na região metropolitana de Belém, estado do Pará, estado que compõe a região norte do Brasil. Este artigo trata-se de um estudo comparativo entre a execução de dois traços executados como ensaios

preliminares para a execução do projeto de pavimentação com aplicação do CCR na obra da pavimentação das vias do BRT-Belém. O primeiro traço segue as normativas nacionais, que são apresentadas na norma DNIT 056/2013, as quais regem a execução do CCR, desde sua composição e trabalhabilidade até sua aplicação; o segundo traço ensaiado foi executado seguindo as diretrizes da mesma norma, com acompanhamento da fiscalização da obra, porém, levando-se como fator de relevância, a análise e adequação da dosagem dos agregados da mistura, que estão disponíveis em jazidas relativamente próximas ao local de aplicação do concreto. Com a obtenção dos resultados, será feita uma comparação entre eles, e assim, definir qual traço terá as características necessárias para atender às exigências da norma, e conseqüentemente, será definido para execução do CCR, que será aplicado nas vias de pavimentação desta obra.

**Palavras-chave:** pavimento rígido, concreto compactado com rolo, desempenho do CCR, traço regional do CCR, BRT Belém-PA.

### ABSTRACT

Rolled concrete is usually applied in hydraulic and paving works, as the object of this study, the application of Roller Compacted Concrete in the sub-base pavement layer will be analyzed in the execution of the paving of the BRT (Bus Rapid Transit) lane, which will be performed on Highway BR-316, located in the metropolitan region of Belém, state of Pará, state that makes up the northern region of Brazil. This article is a comparative study between the execution of two concrete lines executed as preliminary tests for the execution of the paving project with application of the RCC in the paving work of the BRT-Belém roads. The first concrete trace follows the national regulations, which are presented in the Brazilian standard DNIT 056/2013, which govern the execution of the RCC, from its composition and workability to its application; the second concrete mix tested was executed, with monitoring of inspection, taking as a relevant factor, the analysis and adequacy of the dosage of the mixture's aggregates, which are available in deposits relatively close to the place of application of the concrete. With the results obtained, a comparison will be made between the concrete mixes presented, and thus, define which concrete mix will have the necessary characteristics to meet the requirements of the standard, and consequently, will be defined for the execution of the CCR, which will be applied in the paving roads of this paving work.

**Keywords:** rigid pavement, roller compacted concrete, RCC performance, regional concrete trace of the RCC, BRT Belém-PA.

## 1 INTRODUÇÃO

O BRT (Bus Rapid Transit) é um sistema viário que tem como objetivo principal, amenizar a dificuldade de locomoção da população que reside na Região Metropolitana de Belém, que atualmente é carente de um transporte público eficiente e de qualidade, e que satisfaça aos anseios da população.

O BRT presente nesta pesquisa trata-se de um projeto que está em execução, que tem como finalidade a revitalização e adequação da Rodovia BR 316, para implantação deste sistema, com 10,8 quilômetros de extensão, iniciando no bairro do Castanheira, em

Belém, que também é o início dessa rodovia, estendendo-se até o município de Marituba. O projeto executivo das vias de circulação dos ônibus é composto por um pavimento rígido e outro semirrígido, um sendo destinado ao tráfego dos ônibus do BRT e o outro aos demais veículos de tráfego, respectivamente. O sistema contempla, ao longo de sua extensão, 13 estações para embarque e desembarque de passageiros, com todas as instalações necessárias para promover conforto e segurança para milhares de pessoas que irão transitar por ele diariamente. Para execução da pavimentação destas vias, foi definido em projeto, a aplicação de Concreto Compactado com Rolo (CCR).

O Concreto Compactado a Rolo (CCR), ou somente Concreto Rolado, é uma “técnica construtiva composta de um concreto dosado de forma que, em seu estado fresco, seja capaz de suportar o peso de um rolo vibratório e compactador no momento do adensamento”, conforme NBR 16312-1, ABNT 2014. O CCR apresenta um alto índice de resistência aos esforços de compressão, tal característica advém da ação externa de compactação dos rolos compressores na execução do adensamento, o que, somente é possível, por tratar-se de um concreto seco, ou seja, possui um baixo consumo de cimento (80 a 120 kg/m<sup>3</sup>) e volume de água (umidade ótima), possibilitando o espalhamento do concreto no momento do processo de compressão.

No entanto, outro fator preponderante para a alta resistência do CCR, baseia-se nas características físico-mecânicas dos agregados empregados no traço de concreto, bem como sua dosagem e mistura, sendo esta realizada de forma horizontal para uma completa homogeneização e, assim, diminuição do índice de vazios, aumentando, por conseguinte, a tensão efetiva entre os grãos e, conseqüentemente, a resistência característica à compressão do concreto.

Consoante às recomendações obtidas na Norma do DNIT 056/2013-ES, a qual redige sobre a especificação da “execução de sub-base do concreto de cimento Portland compactado a rolo para construção de pavimentos rígidos de rodovia” (DNIT), a granulometria da mistura dos agregados graúdos e miúdos é especificada de acordo com a Tabela 1, no qual é possível se obter um gráfico referente ao intervalo da faixa granulométrica (Figura 1), com limites superior e inferior. A curva granulométrica que compõe o traço de concreto deve estar dentro desses limites pré-estabelecidos, pois, assim, infere-se que irá se obter a granulometria ideal para atender aos critérios da norma para se alcançar o  $f_{ck}$  mínimo de 5 MPa.

Todavia, conforme será verificado nos resultados obtidos, notar-se-á que, apesar de seguir à risca as normativas para a execução do traço do concreto para o CCR na obra

do BRT-BELÉM, no primeiro traço ensaiado, as exigências mínimas de resistência à compressão apresentadas pela norma não serão atendidas, apesar da granulometria do ensaio atender aos limites do gráfico. Logo, o trecho experimental, onde este concreto for aplicado para a compor o CCR, será descartado. Em contrapartida, como será visto na realização e execução do segundo modelo de traço, ao ser realizado uma análise crítica e, fazendo jus de técnicas construtivas para a particularidade regional dos grãos, e com um traço readequado, obter-se-á um valor superior de resistência daquele da exigência normativa.

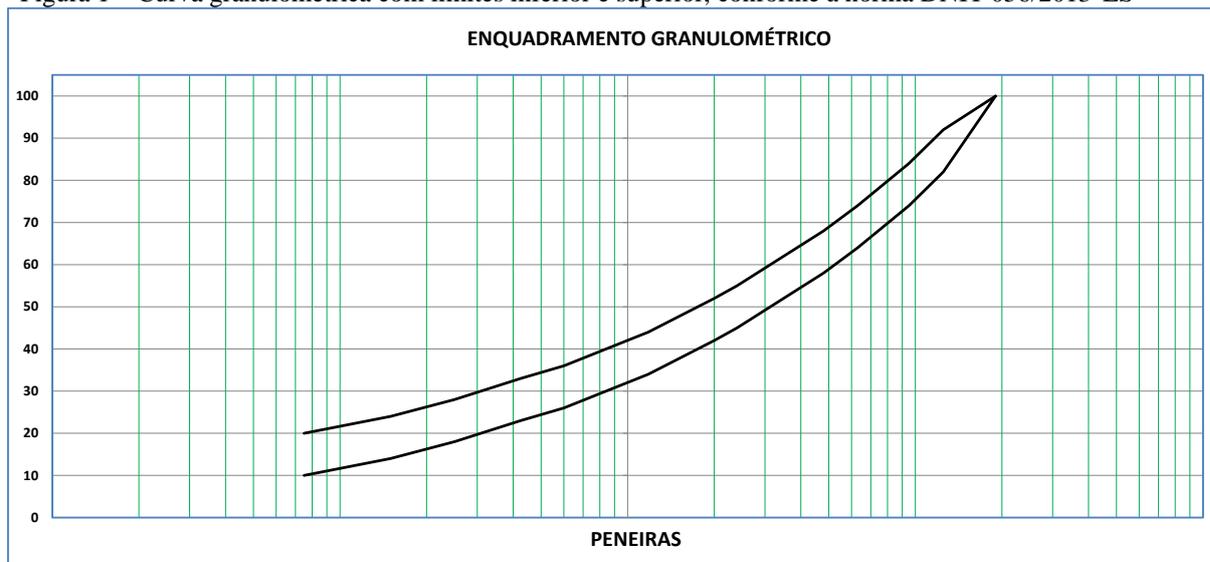
Portanto, fica-se evidente que, após a análise dos resultados, faz-se necessário uma reformulação dos processos que normatizam a execução do CCR no Brasil, uma vez que há especificidades em cada região do país, como características dos materiais usados no traço de concreto, que precisam ser levados em consideração para a plena execução da obra, evitando a perda de recursos e futuras patologias.

Tabela 1 – Faixa granulométrica da mistura

Abertura da peneira (mm)	Porcentagem que passa (%)
38	100
32	100 - 95
25	92 - 82
19	84 - 74
12,5	74 - 64
9,5	68 - 58
6,3	60 - 50
4,8	55 - 45
2,4	45 - 35
1,2	37 - 27
0,6	30 - 20
0,3	25 - 15
0,15	21 - 11
0,075	18 - 8

Fonte: DNIT 056/2013-ES

Figura 1 – Curva granulométrica com limites inferior e superior, conforme a norma DNIT 056/2013-ES



Fonte: Relatório de Análise de Agregados – Areia Natural – TotalMIX Tecnologia em Concreto

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais a serem analisados para composição do CCR, foram selecionados e transportados de regiões próximas à Região Metropolitana de Belém, logo são materiais característicos da região. Dentre os materiais, podemos destacar os agregados, que por um conjunto de fatores, em que podemos citar fatores climáticos, geográficos etc., terão características diferentes dos agregados que foram baseados para redigir a norma DNIT 056/2013, que rege toda a sistemática para execução de sub-base de CCR para construção de pavimentos rígidos de rodovias.

Para fazer essa análise, foram executados dois traços, com a finalidade de fazer uma comparação entre eles, e destacar que os resultados obtidos, dependerão da dosagem e composição da mistura dos agregados. O primeiro traço, será executado, conforme a dosagem recomendada pela norma, e serão realizados todos os ensaios exigidos por essa norma. O segundo traço, que a dosagem foi alterada propositalmente, através de estudos e análises previamente executados, utilizando os mesmos ensaios recomendados pela norma, tiveram resultados satisfatórios e que atenderam as exigências mínimas para aplicação do CCR neste tipo de obra.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 2.1.1 Procedência dos materiais agregados

Dentre os agregados miúdos, areia natural, do tipo areia quartzo, tem como procedência, de uma jazida denominada “jazida do japonês”, que está localizada em

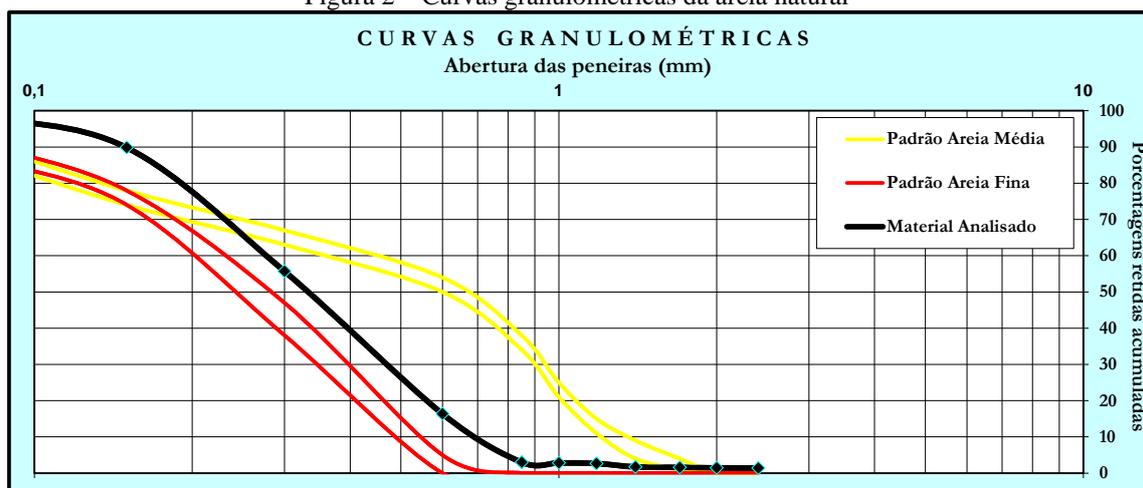
Castanhal, município paraense que fica à 68 quilômetros de distância de Belém do Pará, capital do estado. Enquanto a areia artificial, do tipo pó de rocha granito, é procedente do pátio da empresa Tabal Mineração e Concreto LTDA, que está localizada no município de Tracuateua, cidade localizada no nordeste paraense, que fica distante 250 quilômetros de Belém.

Os agregados graúdos, brita 0 e brita 1, do tipo rocha de granito britada, são procedentes do mesmo local da areia artificial, ou seja, do pátio da Tabal Mineração e Concreto LTDA.

### 2.1.2 Análise dos materiais agregados

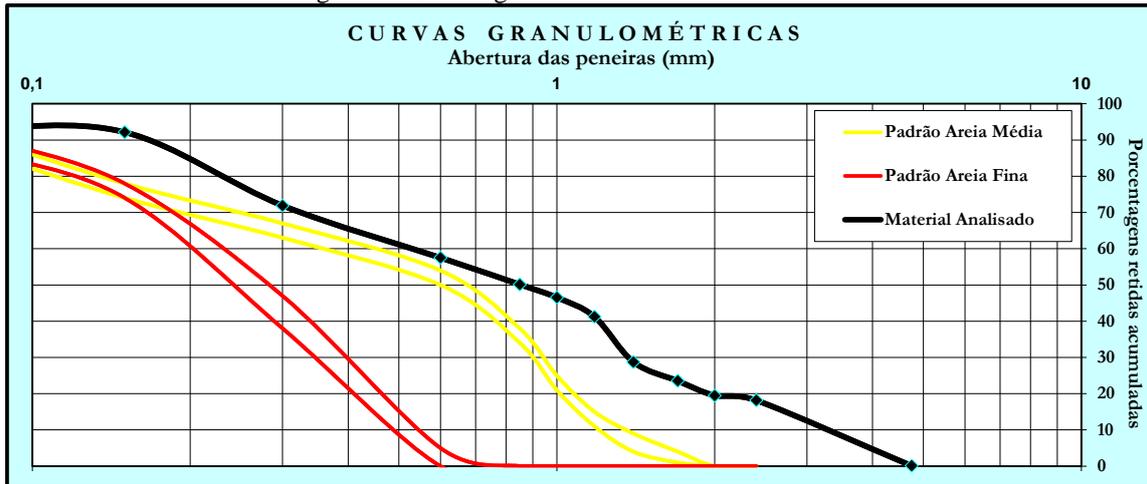
Após a realização dos ensaios físicos de agregado para concreto, seguindo a norma NBR NM 248/2003, obtivemos os resultados médios de caracterização dos agregados, e as curvas granulométricas dos agregados foram as seguintes:

Figura 2 – Curvas granulométricas da areia natural



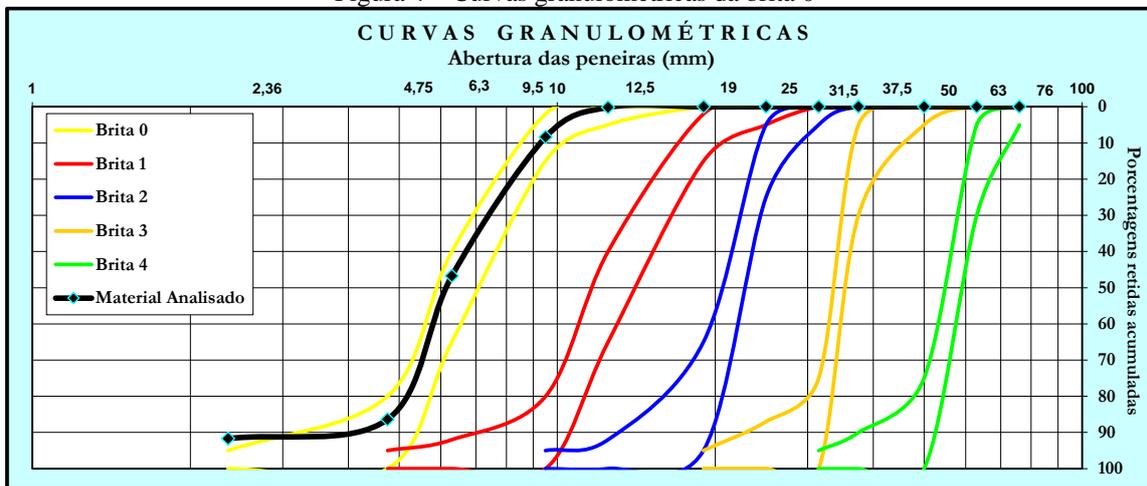
Fonte: Relatório de Análise de Agregados – Areia Natural – TotalMIX Tecnologia em Concreto

Figura 3 – Curvas granulométricas da areia artificial



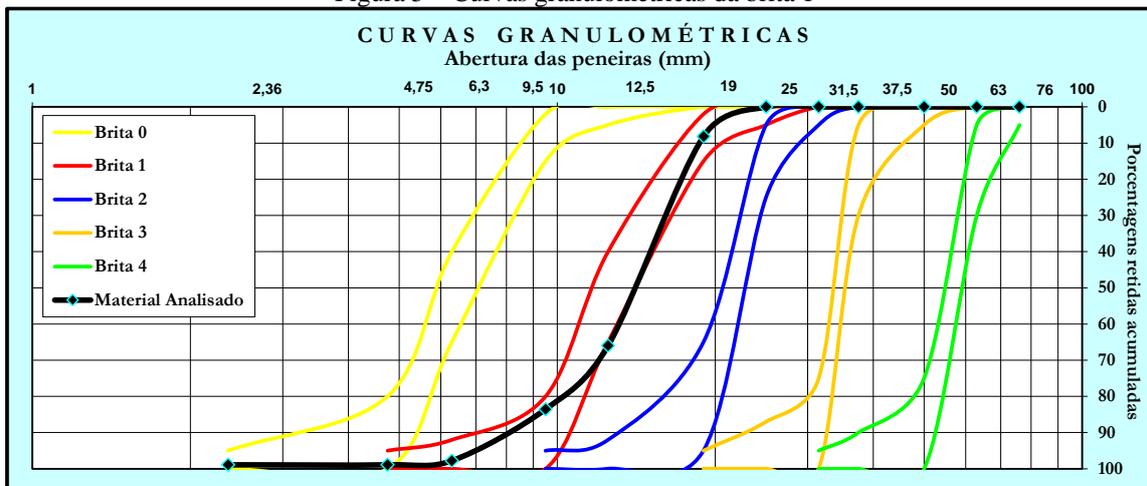
Fonte: Relatório de Análise de Agregados – Areia Artificial – TotalMIX Tecnologia em Concreto

Figura 4 – Curvas granulométricas da brita 0



Fonte: Relatório de Análise de Agregados – Brita 0 – TotalMIX Tecnologia em Concreto

Figura 5 – Curvas granulométricas da brita 1



Fonte: Relatório de Análise de Agregados – Brita 1 – TotalMIX Tecnologia em Concreto

Com os ensaios realizados, e a obtenção das curvas granulométricas, os resultados médios de caracterização dos agregados, foram os seguintes:

Tabela 2 – Resultados médios dos ensaios de caracterização dos agregados

Resultados médios dos ensaios de caracterização	Areia Natural	Areia Artificial	Brita 0	Brita 1	Norma
Massa Específica Real (kg/dm <sup>3</sup> )	2,630	2,688	2,688	2,688	NBR 16916
Massa Específica Aparente (kg/dm <sup>3</sup> )	1,296	1,325	1,321	1,543	NBR 16916
Diâmetro Máximo (DMC) (mm)	1,2	2,4	19,0	19,00	NBR NM 248
Módulo de Finura	1,66	2,81	5,53	6,85	NBR NM 248

Fonte: Relatório de Análise de Agregados – TotalMIX Tecnologia em Concreto

### 2.1.3 Procedência e análise do cimento Portland

O cimento utilizado da composição do CCR, é do tipo CP II F 40, e tem como procedência a fábrica da Votorantim Cimentos, que está localizada na cidade de Primavera, cidade situada na mesorregião Nordeste Paraense, microrregião Bragantina e está distante 198 quilômetros de Belém.

Com a realização dos ensaios para a determinação da resistência à compressão, em que cada valor apresentado, indicando a norma de cada ensaio, os resultados dos ensaios físicos mostrados na Tabela 3, os resultados dos ensaios químicos mostrados na Tabela 4 e os resultados dos ensaios de resistência à compressão mostrados na Tabela 5.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios químicos do cimento Portland tipo CP II F 40

Ensaio	Norma	Cimento
Perda ao fogo	NBR 15577	7,71%
Resíduos insolúvel	NBR NM 15	3,20%
Óxido de magnésio	NBR 14656	3,45%
Trióxido de enxofre	NBR 14656	3,65%

Fonte: Relatório de Análise - Aglomerante – TotalMIX Tecnologia em Concreto

Tabela 4 – Resultados dos ensaios químicos do cimento Portland tipo CP II F 40

Ensaio	Norma	Cimento
Massa específica	NBR NM 23	3,08 g/cm <sup>3</sup>
Finura #200	NBR 11579	0,10%
Início Pega	NBR NM 65	200 min
Fim Pega	NBR NM 65	260 min
Expansibilidade à quente	NBR 11582	0,8 mm
Blaine	---	4850 cm <sup>2</sup> /g

Fonte: Relatório de Análise - Aglomerante – TotalMIX Tecnologia em Concreto

Tabela 5 – Resultados dos ensaios resistência à compressão do cimento Portland tipo CP II F 40, conforme NBR

Nº de Corpos de Prova	Idade (dias)	Resistência (MPa)		Média (MPa)
1	1	12,3		12,3
2	3	29,6		29,6
3 e 4	7	36,9	36,9	36,9
5 e 6	28	46,2	46,1	46,2

Fonte: Relatório de Análise - Aglomerante – TotalMIX Tecnologia em Concreto

### 2.1.4 Análise do aditivo

O aditivo Muraplast FK 340, aplicado na mistura do concreto, de acordo com a norma NBR 11768-3, ABNT 2019, é caracterizado como Redutor de água - Tipo 1/retardador (RA1-R), e tem os dados técnicos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados técnicos do aditivo Muraplast FK 340

Característica	Valor	Observações
Densidade	1,12 kg/L	NBR 11768-3:2019
Dosagem recomendada	≥ 0,2% ≤ 1,0%	sobre o peso do cimento

Fonte: Ficha técnica - Muraplast FK 340

### 2.2 CURVA DA MISTURA

Com a caracterização dos materiais, conforme mencionado anteriormente, foram feitos os estudos de dois traços, em que o primeiro traço foi composto conforme a norma DNIT 056/2013, e a composição granulométrica é apresentada na Tabela 7.

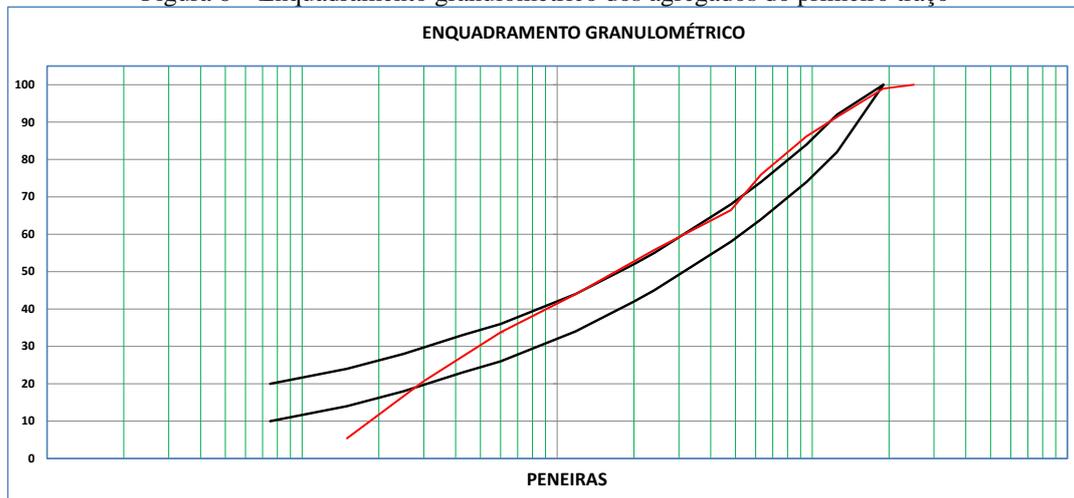
Tabela 7 – Composição granulométrica do primeiro traço estudado conforme Norma 16312 – Concreto Compactado com Rolo – Parte 2 – Preparação em Laboratório

Peneiras	Brita 01		Brita 00		Pó de Pedra		Areia Fina		Cimento	Composição
Número	%	12,5	%	22,5	%	50,0	%	15,0	%	Mistura
50	100	12,5	100	22,5	100	50,0	100	15,0	100	100
38	100	12,5	100	22,5	100	50,0	100	15,0	100	100
25	100	12,5	100	22,5	100	50,0	100	15,0	100	100
19	91,8	11,5	100	22,5	100	50,0	100	15,0	100	99
12,5	34,0	3,9	99,8	22,5	100	50,0	100	15,0	100	91,4
9,5	16,4	0,6	91,6	20,6	100	50,0	100	15,0	100	86,2
6,3	2,2	0,0	53,2	11,0	100	50,0	100	15,0	100	76
4,8	1,0	0,0	13,7	1,5	99,9	50,0	100	15,0	100	66,5
2,4	1,0	0,0	8,6	0,1	81,7	40,9	98,6	14,8	100	55,8
1,2	1,0	0,0	8,6	0,0	58,7	29,4	97,3	14,6	100	44
0,6	1,0	0,0	8,6	0,0	42,4	21,2	83,7	12,6	100	33,8
0,3	1,0	0,0	8,6	0,0	28,1	14,1	44,3	6,6	100	20,7
0,15	1,0	0,0	8,6	0,0	7,8	3,9	10,1	1,5	99,8	5,4
0,075	1,0	0,0	8,6	0,0	6,5	3,2	0,7	0,1	97,7	3,3

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Com a composição granulométrica do primeiro traço apresentado, a curva da composição granulométrica dos agregados é mostrada no gráfico da Figura 6.

Figura 6 – Enquadramento granulométrico dos agregados do primeiro traço



Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Conforme pode ser visto no gráfico, seguindo a composição dos agregados exigidos pela norma, a curva granulométrica permaneceu, quase completamente, dentro dos limites de granulometria que a norma permite.

O segundo traço realizado, através de estudos e realização de ensaios, levando em consideração os materiais dos agregados que são encontrados em regiões próximas à capital paraense, teremos a composição granulométrica exibido na Tabela 8.

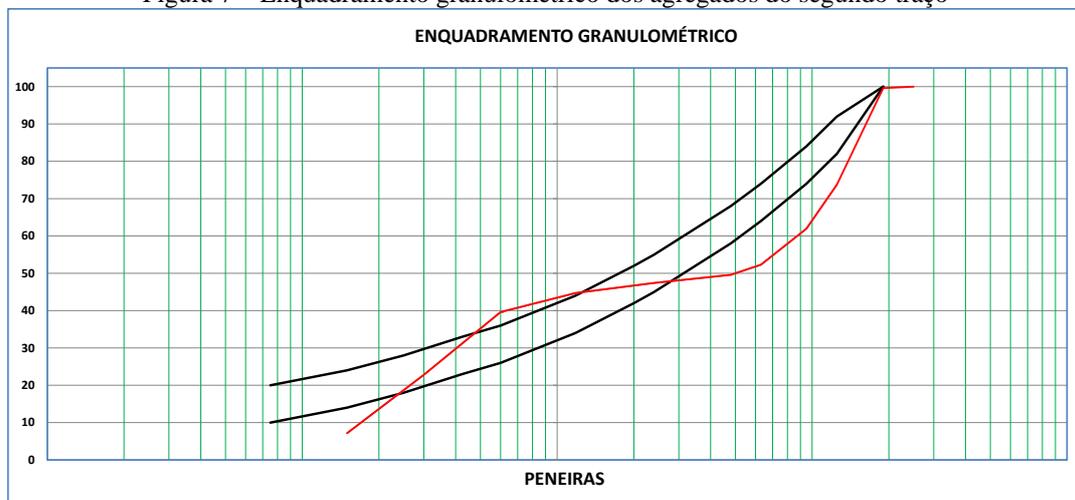
Tabela 8 – Composição granulométrica do segundo traço estudado conforme Norma 16312 – Concreto Compactado com Rolo – Parte 2 – Preparação em Laboratório

Peneiras	Brita 01		Brita 00		Pó de Pedra		Areia Fina		Cimento	Composição
Número	%	35,5	%	15,2	%	9,8	%	39,5	%	Mistura
50	100	35,5	100	15,2	100	9,8	100	39,5	100	100
38	100	35,5	100	15,2	100	9,8	100	39,5	100	100
25	100	35,5	100	15,2	100	9,8	100	39,5	100	100
19	98,9	35,5	100	15,2	100	9,8	100	39,5	100	99,6
12,5	26,4	9,3	99,7	15,2	100	9,8	100	39,5	100	73,7
9,5	3,0	0,3	81,7	12,4	100	9,8	100	39,5	100	61,9
6,3	0,3	0,0	24,3	3,0	100	9,8	100	39,5	100	52,3
4,8	0,2	0,0	10,2	0,3	99,9	9,8	100	39,5	100	49,6
2,4	0,2	0,0	3,4	0,0	81,6	8,0	99,8	39,4	100	47,4
1,2	0,2	0,0	2,5	0,0	59,1	5,8	98,6	38,9	100	44,7
0,6	0,2	0,0	1,8	0,0	42,6	4,2	89,8	35,4	100	39,6
0,3	0,2	0,0	1,3	0,0	28,3	2,8	50,7	20,0	100	22,8
0,15	0,2	0,0	0,9	0,0	7,9	0,8	16,2	6,4	99,8	7,2
0,075	0,2	0,0	0,5	0,0	7,9	0,8	16,2	6,4	97,7	7,2

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

O segundo traço, juntamente com sua composição granulométrica, obtivemos o gráfico da curva granulométrica dos agregados, que é indicado na Figura 7.

Figura 7 – Enquadramento granulométrico dos agregados do segundo traço



Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Analisando o gráfico, nota-se que a curva granulométrica do segundo traço, permanece quase que totalmente fora da faixa granulométrica, a qual a norma indica como sendo a faixa que definirá que a composição dos agregados resultará em um resultado que atenderá as exigências mínimas para que o CCR seja considerado como adequado para sua aplicação.

### 2.3 DESENVOLVIMENTO DO TRAÇO

O desenvolvimento dos traços estudados, seguiram os procedimentos conforme especificado em norma, referida anteriormente, no qual inicia-se fazendo uma caracterização dos materiais agregados, observando-se tanto na tabela quanto no gráfico, que se enquadraram como os materiais exigidos para compor o CCR.

Posteriormente, obteve-se a curva granulométrica dos dois traços, onde observamos que o primeiro traço, seguindo as recomendações da norma, a curva manteve-se quase integralmente, dentro dos limites exigidos para que o traço seja considerado ideal para composição do CCR. Já o segundo traço, com estudos dos materiais característicos da região, a curva granulométrica manteve-se fora dos limites, quase em toda sua totalidade, logo podemos afirmar que ela estaria em desacordo com a norma.

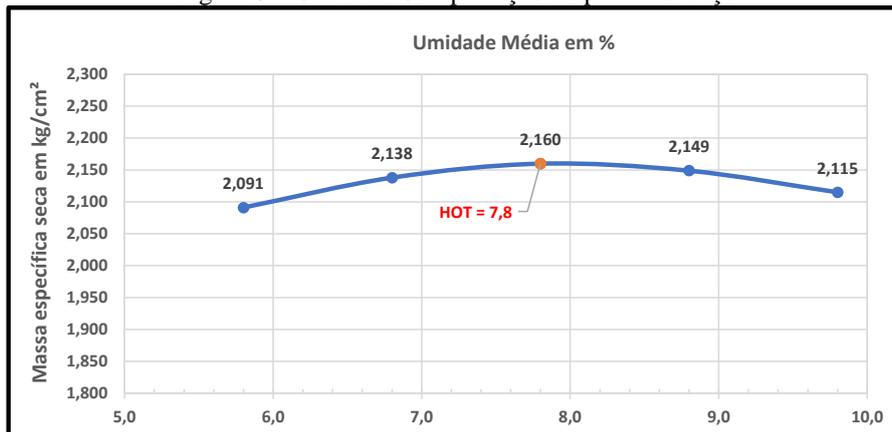
Em seguida, os dois traços passaram pelo ensaio de compactação, com a finalidade de obter a Curva de Compactação, conseqüentemente, registrar os valores da Massa Específica Seca e Umidade Ótima.

### 2.4 CURVA DE COMPACTAÇÃO / UMIDADE ÓTIMA

A Curva de Compactação é alcançada, realizando o Ensaio de Compactação, seguindo as instruções da norma NBR 6457, ABNT 2016, que esclarece os tipos de aparelhos à serem utilizados, como preparar as amostras que farão parte dos ensaios de compactação e ensaios de caracterização; a norma NBR 7182, ABNT 2016, que mostra os métodos que podem ser utilizados, para determinar o Teor de Umidade, que é obtido em porcentagem e a Massa Específica Seca, em kg/cm<sup>2</sup>; e por fim, a norma NBR 9895, que indica como realizar a fixação do molde relacionados aos corpos-de-prova, os cálculos para identificar qual será a massa aparente seca, entre outras informações importantes.

Para o primeiro traço, com a realização dos ensaios, os resultados podem ser visualizados no gráfico da Figura 8.

Figura 8 – Curva de Compactação do primeiro traço



Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Como observado no gráfico, os resultados do ensaio de compactação do primeiro traço, foram expostos na Tabela 9.

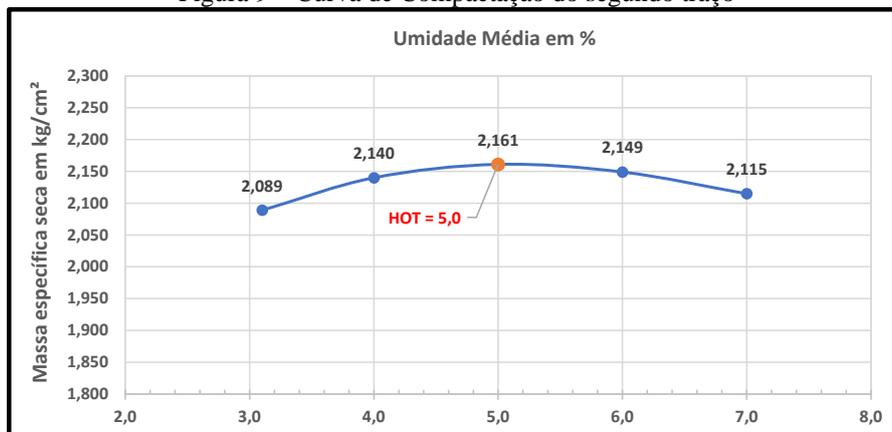
Tabela 9 – Composição granulométrica do primeiro traço estudado conforme Norma 16312 – Concreto Compactado com Rolo – Parte 2 – Preparação em Laboratório

Característica	Resultado
Massa Específica Seca	2,160 kg/cm²
Teor de Umidade	7,8 %

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Os ensaios realizados para o segundo traço, sendo evidenciados no gráfico da Figura 9, mostrada a seguir.

Figura 9 – Curva de Compactação do segundo traço



Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Os resultados alcançados com os ensaios de compactação executados para o segundo traço, são demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Composição granulométrica do segundo traço estudado conforme Norma 16312 – Concreto Compactado com Rolo – Parte 2 – Preparação em Laboratório

Característica	Resultado
Massa Específica Seca	2,161 kg/cm <sup>2</sup>
Teor de Umidade	5,0 %

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

## 2.5 RESULTADOS DE LABORATÓRIO

Os traços a serem estudados, foram caracterizados e os traços definidos, para que seja feita a análise para obtenção de resultados. A caracterização e primeiro traço de concreto, foram representados nas Tabela 11 e 12, conforme mostrado a seguir:

Tabela 11 – Características do concreto do primeiro traço

FCK (MPa)	Relação a/c	Aplicação
≥ 5,0	0,842	Sub-base de concreto compactado com rolo

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Tabela 12 – Dosagem do primeiro traço de concreto

Cimento CP II F 40 Votorantim	Areia Natural	Areia Artificial	Brita 0	Brita 1	Água Potável	Aditivo Muraplast FK 340
120	326,4	1088	491	272	101	0,78

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Analisando o segundo traço, sua caracterização e definição do traço podem ser visualizados nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 – Características do concreto do segundo traço

FCK (MPa)	Relação a/c	Aplicação
≥ 5,0	0,792	Sub-base de concreto compactado com rolo

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Tabela 14 – Dosagem do segundo traço de concreto

Cimento CP II F 40 Votorantim	Areia Natural	Areia Artificial	Brita 0	Brita 1	Água Potável	Aditivo Muraplast FK 340
120	859	214	331	773	95	0,78

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Os procedimentos e metodologias empregados na verificação de dosagens no laboratório de campo, foram os seguintes:

- **Estudo de dosagem de concreto** (NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação; NBR 15577-1 – Agregados – Reatividade álcalis-agregado Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto);
- **Preparo e mistura do concreto em betoneira estacionária** (NBR 12821 – Preparação de concreto em laboratório – Procedimento);
- **Coleta e preparação de amostras** (NBR NM 33 – Concreto – Amostragem de concreto fresco);
- **Medida do abatimento do concreto fresco** (NBR NM 67 – Concreto – Determinação a consistência pelo abatimento do tronco de cone);
- **Determinação da massa unitária do concreto fresco** (Procedimento interno TotalMIX Controle – Pesagem de recipiente com volume conhecido, cheio de concreto adensado e arrasado);
- **Moldagem de corpos de prova** (Norma DNIT 056/2013-ES – Pavimento rígido – Sub-base de concreto de cimento Portland compactado com rolo – Especificação do serviço)
- **Ensaio de resistência à compressão** (NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos);
- **Ensaio de resistência à tração na flexão** (NBR 12142 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos).

Os resultados obtidos nos ensaios realizados, que foram supracitados, no concreto em estado fresco e endurecidos, do primeiro traço, são exibidos nas Tabelas 15.

Tabela 15 – Resultados do primeiro traço de concreto após execução dos procedimentos e métodos de dosagens no laboratório de campo

CONCRETO FRESCO		RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
Umidade do concreto fresco (%)	Massa Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	R7 (dias)
7,8	2398	3,8

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

O segundo traço, após realização dos mesmos ensaios, gerou os resultados que podem ser visualizados na Tabela 16, que é apresentada em seguida.

Tabela 16 – Resultados do segundo traço de concreto após execução dos procedimentos e métodos de dosagens no laboratório de campo

CONCRETO FRESCO		RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)
Umidade do concreto fresco (%)	Massa Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	R7 (dias)
5,0	2161	7,1

Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Em conformidade com os resultados obtidos, podemos analisar que tanto o primeiro traço, quanto o segundo traço, alcançaram percentuais satisfatórios para a Umidade do Concreto Fresco, e a Massa Unitária, de ambos, também apresentaram valores que são considerados apropriados, para caracterizar o CCR como adequado para aplicação.

Entretanto, o valor da resistência do concreto à compressão em 7 dias, para o primeiro traço, obteve-se um valor de 3,8 MPa, resultado que é inferior ao permitido pela norma, que é de 5 MPa, à vista disso, o concreto não deve ser executado. No entanto, o segundo traço, atingiu o valor de 7,1 MPa, por ser maior que o valor mínimo aceito pela norma, o concreto pode ser aplicado.

Por conseguinte, o segundo traço de concreto foi adotado como o traço referência para aplicação na camada de sub-base da pavimentação das vias do BRT. Com base nisso, foram executados os ensaios referentes à sua execução em campo.

## 2.6 RESULTADOS DE CAMPO

Foram realizadas 25 coletas de materiais para realização dos ensaios de resistência à compressão axial do Concreto Compactado com Rolo, de rompimentos com idade de 7 dias, realizados em laboratório, e os resultados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial do concreto com idade de 7 dias (continua)

Coleta	Data	Umidade (%)	Resistência 7 dias (MPa)
1	28/04/2022	5,7	6,7
2	28/04/2022	3,9	4,4
3	28/04/2022	3,9	4,4
4	05/05/2022	3,9	4,4
5	05/05/2022	5,0	7,0
6	05/05/2022	3,6	4,1
7	06/05/2022	5,4	5,6
8	06/05/2022	5,5	6,1
9	06/05/2022	5,7	6,3
10	07/05/2022	5,0	5,5
11	07/05/2022	5,3	6,2
12	07/05/2022	5,5	5,8
13	14/05/2022	3,9	4,9
14	14/05/2022	3,8	4,2
15	14/05/2022	3,9	4,9
16	14/05/2022	5,3	6,5
17	14/05/2022	5,2	5,5
18	14/05/2022	5,4	5,6
19	16/05/2022	6,3	7,7
20	16/05/2022	5,7	7,8
21	16/05/2022	5,6	6,4
22	16/05/2022	5,8	6,9
23	16/05/2022	5,7	6,3
24	16/05/2022	5,2	5,3
25	16/05/2022	3,8	4,3

Fonte: Relatório de análise de resultados de resistência à compressão axial do Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

## 2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A partir das coletas realizadas, e dos resultados obtidos, podemos tirar algumas conclusões, que são demonstrados nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 – Média da Umidade e Resistência para as amostras das coletas 1 a 25

Umidade Média (%)	Fck Médio (MPa)
4,96	5,71

Fonte: Relatório de análise de resultados de resistência à compressão axial do Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Tabela 19 – Taxa de aprovação do CCR após a realização dos ensaios de rompimentos a 7 dias das coletas 1 a 25

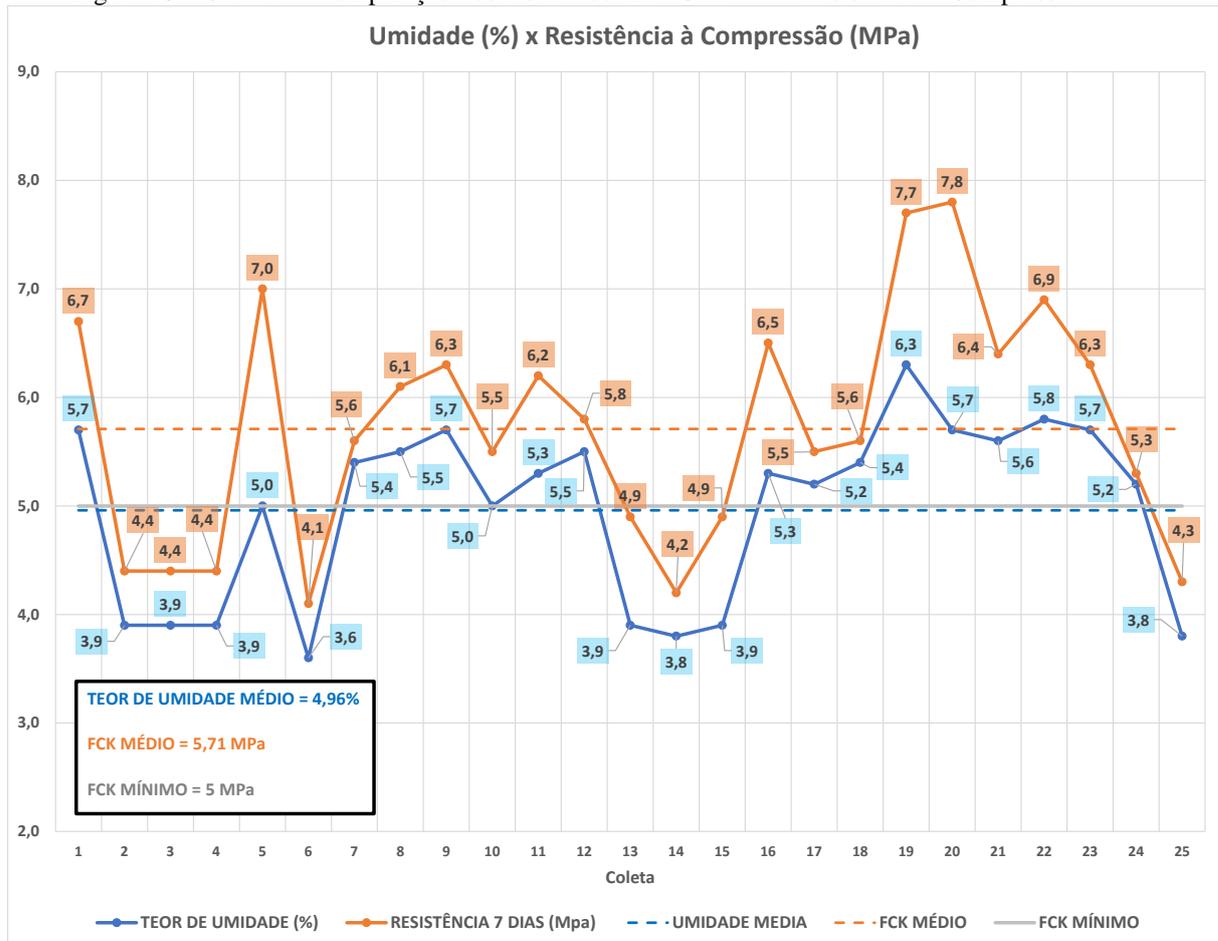
Fck $\geq$ 5 MPa	Fck < 5 MPa
17	8
Aprovação (%)	68

Fonte: Relatório de análise de resultados de resistência à compressão axial do Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Ainda utilizando os resultados das coletas realizadas, e realização dos ensaios supracitados, 17 dessas amostras atingiram 5 MPa ou mais, com isso podemos, logo a taxa de aproveitamento foi de 68%, conforme podemos observar na Tabela 19, mostrada previamente.

Contemplando todas as informações mencionadas anteriormente, o gráfico da Figura 10, mostra todos os resultados obtidos, destacando uma comparação entre a Umidade Ótima, que é dada em porcentagem, e a Resistência à Compressão Axial em 7 dias, que é dada em MPa, além disso, traça um valor mediano das duas características.

Figura 10 – Gráfico de comparação dos resultados entre Umidade e Resistência à Compressão



Fonte: Relatório técnico preliminar - Estudo de dosagem de Concreto Compactado com Rolo (CCR) - TotalMIX Tecnologia em Concreto

Fazendo a análise do gráfico apresentado acima, evidenciamos que Umidade e Resistência são diretamente proporcionais, ou seja, quanto menor a Umidade obtida, logo a resistência também apresentará um valor inferior, assim também será, caso os valores sejam superiores.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados obtidos nos ensaios de laboratório dos dois traços de concreto Portland para aplicação do CCR na execução da sub-base do pavimento rígido da obra de pavimentação do sistema Bus Rapid Transit – BRT, em Belém, verificou-se que, o primeiro traço, executado seguindo as prerrogativas da norma DNIT 056/2013 referentes à granulometria dos agregados miúdos e graúdos da mistura, gerou resultados satisfatórios no atendimento aos parâmetros da norma relativos à faixa granulométrica da mistura, no entanto com valor da resistência à compressão abaixo do mínimo; em contrapartida, o ensaio do segundo traço de concreto executado, levando-se em

consideração as particularidades das características físico-mecânicas dos agregados regionais, em especial os finos, e no qual a curva granulométrica permanece, quase em sua totalidade, fora dos limites da faixa prevista em norma, irá atender, com um  $f_{ck}$  no valor de 7,1 MPa, na idade de 7 dias, a resistência à compressão exigida pela norma.

Conclui-se que, a Norma DNIT 056/2013-ES estabelece critérios para elaboração e execução do Concreto Compactado com Rolo em todo território nacional, estipulando requisitos mínimos a serem adotados para padronização da execução do serviço, bem como com o objetivo de, após realizados todos os procedimentos para execução do CCR, se obter um valor mínimo de resistência à compressão para, assim, atender, de forma integral, as necessidades dos usuários, pois, conforme CNT (2021, p.47),

Visando prover segurança ao tráfego nas rodovias, o pavimento deve suportar os efeitos das mudanças de clima, permitir deslocamento suave, não causar desgaste excessivo dos pneus e nível alto de ruídos, ter estrutura forte, resistir ao fluxo de veículos (...).

No entanto, verificou-se através de dados empíricos advindo dos ensaios supracitados que, no estabelecimento normativo no que diz respeito à faixa granulométrica da mistura dos grãos, existe um equívoco ao não ser considerada as particularidades de cada região brasileira, pois, a depender do clima, intempéries e demais características regionais, as propriedades físico-mecânicas dos agregados irão sofrer alterações em sua estrutura, resultando em índices de resistências variáveis para cada tipo de grão, tal como areia, brita, pó de pedra e quaisquer outros agregados empregados na composição do traço de concreto que irá compor o Concreto Rolado. Logo, tal variável é de suma importância e precisa compor as análises técnicas na elaboração de normas que a norteiam. Visto que, ao não ser considerada a regionalidade dos materiais, e mesmo seguindo todos os direcionamentos normativos, não irá se alcançar a principal propriedade do concreto: a resistência mínima à compressão para execução do CCR.

Assim sendo, evidencia-se a necessidade de revisão da sistemática estabelecida pela Norma DNIT 056/2013-ES ao definir uma faixa granulométrica dos agregados empregados na composição do concreto, uma vez que, o território brasileiro, por compreender um tamanho continental, possui vasta variabilidade das composições dos materiais que são utilizados na área da construção civil.

### **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradecemos a Deus, pela oportunidade de finalizar este artigo, e por ter adquirido um conhecimento pelo assunto aqui tratado. Os autores também agradecem à Faculdade Estácio de Belém (Belém – PA), na pessoa Ana Carolina Assmar de Lima Rabelo, que sempre se dispôs a ajudar, em todos os momentos para elaboração deste artigo, além de sempre auxiliar em toda a graduação do curso de Engenharia Civil. Expressamos profunda gratidão ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (Belém – PA) na pessoa do Eng. Rodrigo Rodrigues da Cunha, que nos orientou e viabilizou a execução de testes em laboratório e campo, além do mais, sempre se mostrou solícito para assessorar em diversas situações difíceis que surgiram ao longo da construção deste artigo.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821**: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-1**: Agregados – Reatividade álcali-agregado Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16312-1**: Concreto compactado com rolo – Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16312-2**: Concreto compactado com rolo – Parte 2: Preparação em laboratório. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16312-3**: Concreto compactado com rolo – Parte 3: Ensaio de laboratório em concreto fresco. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996.

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

CNT. **Pesquisa CNT de rodovias – Relatório Gerencial**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, SEST SENAT, 2021. Disponível em: <[https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa CNT Rodovias 2021 Web.pdf](https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 056/2013-ES**: Pavimento rígido – Sub-base de concreto de cimento Portland compactado com rolo – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2013.