



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 12, Issue, 09, pp. 58883-58890, September, 2022

<https://doi.org/10.37118/ijdr.25330.09.2022>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

ESTUDO DE CASO DE CONTROLE TECNOLÓGICO DE PAVIMENTO RÍGIDO DE OBRA AEROPORTUÁRIA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Lins R^{*1}., Santos F¹., Cavalcanti M¹., Manta R²., Neuwald A.³

¹Universidade de Pernambuco Brazil; ²Universidade Federal de Pernambuco Brazil; ³Universidade Católica de Pernambuco Brazil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 20th July, 2022

Received in revised form

19th August, 2022

Accepted 28th August, 2022

Published online 30th September, 2022

Key Words:

Paving. Concrete. Strength. Correlation.

*Corresponding author: Lins R.,

ABSTRACT

This paper aims to approach the procedures on quality control of concrete applied on paving through a study of case of an airport construction in the City of Recife. The results from the compressive strength and flexural tensile strength were analyzed in order to verify the meeting of the project criteria and the current standards. Besides, it is presented the correlation between the results from tests done with 7 and 28 days. The research methods defines the presented objectives, as well the importance and justification of the theme and explanation of the paper presentation structure, followed by the elaboration of the theoretical referential relevant to the topic and the case study detail. The findings shows there are a correlation between the results from the compressive strength and the flexural tensile strength to the quality control of paving works.

Copyright©2022, Lins et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Lins R., Santos F., Cavalcanti M., Manta R., Neuwald A., 2022. "Estudo de caso de controle tecnológico de pavimento rígido de obra aeroportuária na região metropolitana do Recife", *International Journal of Development Research*, 12, (09), 58883-58890.

INTRODUÇÃO

Durante obras de construção civil, a constatação da qualidade dos materiais utilizados e da execução de serviços é de grande importância a fim de se garantir que a estrutura, ao estar concluída, apresente as características especificadas em projeto. Desta forma, o controle de qualidade, abrangendo o controle tecnológico específico para um determinado material, tem sido cada vez mais exigido, fazendo com que novas tecnologias e metodologias sejam desenvolvidas a fim de se ter um indicativo de qualidade. No Brasil, 95% do transporte de passageiros e 61% do transporte de cargas é realizado por rodovias, fazendo com que estas necessitem de uma pavimentação durável, de baixo custo de manutenção e com capacidade de suportar o tráfego intenso. O pavimento rígido, por meio de placas de concreto de cimento Portland, aparece como alternativa mais viável sob estes aspectos. Entretanto, segundo a Associação Brasileira de Concreto Portland - ABCP, apenas 4% das estradas apresentam esta solução. O emprego de pavimentos de concreto, no Brasil, iniciou já no começo do século XX, e intensificou-se até a década de 1970. Entretanto, por motivos econômicos, de maior investimento inicial de recursos em relação aos pavimentos flexíveis, compostos por revestimento asfáltico, foi relegada a um segundo plano. Sabe-se, no entanto que, em face de sua durabilidade e menor custo de manutenção, os pavimentos de concreto de cimento Portland são mais econômicos a longo prazo. A partir dos anos 90, a ABCP buscou reativar a cultura dos pavimentos

rígidos, por meio de emprego dos mais modernos equipamentos e da capacitação de profissionais para um resultado de qualidade. O estado de Pernambuco e a cidade do Recife são exemplos da adoção significativa deste tipo de pavimento no Brasil, intensificado pela construção de rodovias federais como BR-101, BR-408, BR-232 e rodovias estaduais como PE-45, PE-60 e PE-126.

Os principais corredores de tráfego no Recife também adotam a solução de pavimentos rígidos, como Conde da Boa Vista, Agamenon Magalhães, Caxangá, Norte, Sul e Recife. A qualidade das rodovias existentes tem se mostrado bastante precária. Segundo a Confederação Nacional dos Transportes (CNT), 47,9% dos trechos rodoviários pesquisados estão em estado regular, ruim ou péssimo. Enquanto estima-se que a vida útil de um pavimento rígido seja de, no mínimo 20 anos, há exemplos de rodovias com mais de 50 anos de serviço, sem manutenção. Entretanto, não é só a manutenção que se apresenta como solução para melhoria da qualidade dos pavimentos. Nos últimos anos, tem-se observado uma presença cada vez maior de setores de controle de qualidade em obras de engenharia civil, principalmente públicas. Essa atuação dá-se pela necessidade da comprovação que os materiais recebidos em obra, atendem aos critérios mínimos de aceitação, além da fiscalização dos serviços em execução. Em busca de alternativas para melhorar o sistema de controle de qualidade, anualmente, dezenas de normas são revisadas e atualizadas. Em obras rodoviárias, o controle de qualidade se faz necessário na utilização dos materiais e na execução das camadas de terraplenagem e de pavimentação. No caso de pavimentos rígidos, abrange o controle tecnológico do concreto utilizado nas placas do

pavimento. Para o concreto, são vários os fatores que podem influenciar nas propriedades finais da mistura. Assim, é estabelecido nas especificações do DNIT, condições de conformidade através dos ensaios de laboratório de resistência à compressão e resistência à tração na flexão. Para a pavimentação, o principal ensaio de controle de qualidade do concreto aplicado na pista é o Ensaio de Resistência à Tração na Flexão (ABNT NBR 12142:2010), realizado em corpos de prova prismáticos, sendo mais utilizado com dimensões de 15x15x50 cm. Entretanto, seu custo pode ser até 3 (três) vezes mais caro que um Ensaio de Resistência à Compressão Simples (ABNT NBR 5739:2018) em corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm, utilizados comumente no controle de edificações, pontes e viadutos.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Dimensionamento do Pavimento Rígido de Concreto: O Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2004), adota o Método da Portland Cement Association (PCA), de 1966, como procedimento para dimensionamento de Pavimentos de Concreto Simples no Brasil. Nesse tipo de pavimento, a relação entre as tensões de tração na flexão solicitantes e a resistência do concreto a essas tensões aplicadas, são os principais elementos para determinação da espessura das placas rígidas. Seguindo o método da PCA, os principais parâmetros de dimensionamento são: resistência característica à tração na flexão aos 28 dias; coeficiente de recalque; fator de segurança e tráfego esperado para cada nível de carga e de acordo com a vida de projeto do pavimento. Com o recorrente excesso de carga atuante no pavimento, é caracterizado um subdimensionamento da espessura do mesmo, fazendo com que ocorra uma redução da vida útil das rodovias. Portanto, é imprescindível a revisão do projeto para verificação do atendimento da geometria do pavimento com às solicitações atuais do tráfego. Para isso, o Manual do DNIT indica a utilização do Método da Carga Máxima, para verificação da adequação da espessura com as necessidades reais.

2.2. Definição da Resistência do Concreto: A resistência é a propriedade do concreto mais valorizada por projetistas e engenheiros de controle de qualidade. É com base na resistência característica que são desenvolvidos os principais métodos de dimensionamento de estruturas na construção civil. Clímaco (2005) define essa grandeza como um valor fixado com uma probabilidade de não ser ultrapassado no sentido desfavorável para segurança. Entretanto, devemos ressaltar que a resistência efetiva que uma estrutura apresenta é diferente da resistência potencial que aquele concreto pode atingir. Pereira (2008) define resistência potencial como a resistência máxima que se pode atingir ao ter as condições de características à resistência do concreto otimizadas, como cura, adensamento, etc, enquanto a resistência potencial depende do material aplicado na estrutura e da qualidade das operações de produção. Esta descrição pode ser explícita na figura 1 retirada de Helene e Terzian, 1993.

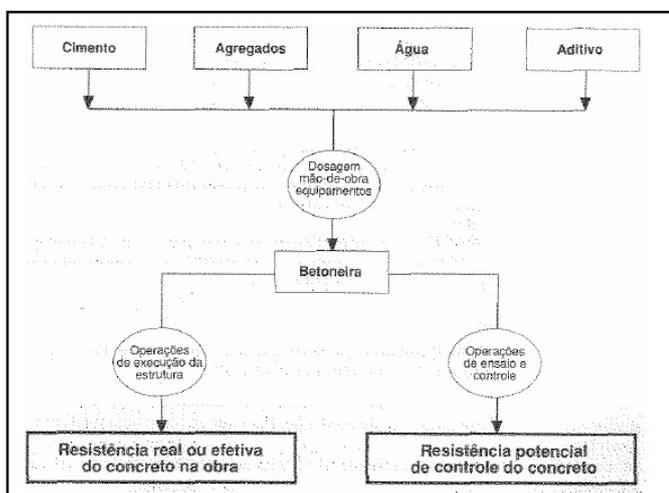


Figura 1 - Diferenciação entre Resistência Real e Potencial do Concreto: Fonte: Helene e Terzian (1993)

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, o parâmetro f_{ck} é definido como o valor da resistência à compressão, abaixo da qual, exista apenas a probabilidade de 5% de valores inferiores a este.

2.3 Parâmetros Influentes na Resistência do Concreto: De acordo com Pereira (2008), os principais parâmetros influentes na resistência do concreto estão presentes nas mais diversas etapas de sua formação; desde o processo de produção, fase de endurecimento, transporte e armazenamento de corpos de prova para ensaios em laboratório. Helene (1981), apud Pereira (2008) apresenta no quadro a seguir os principais elementos influenciadores, e o efeito máximo de cada um, na resistência à compressão do concreto.

Causa da Variação	Efeito Máximo no Resultado
A- Materiais	
- Variabilidade da Resistência do Cimento	± 12%
- Variabilidade da Quantidade Total de Água	± 15%
- Variabilidade dos Agregados (principalmente miúdos)	± 8%
B- Mão-de-Obra	
- Variabilidade do Tempo e Procedimento de Mistura	± 30%
C- Equipamentos	
- Ausência de Aferição de Balanças	± 15%
Mistura Inicial, Sobre e Subcarregamento, Correias, etc.	± 10%
D- Procedimentos de Ensaios	
- Coleta Imprecisa	± 10%
- Adensamento Inadequado	± 50%
- Cura (efeito considerado aos 28 dias ou mais)	± 10%
- Remate Inadequados nos Topos	± 30% (para concavidade)
	± 50% (para convexidade)
- Ruptura (velocidade de carregamento)	± 5%

Quadro 1 - Principais fatores influentes na resistência do concreto e sua respectiva porcentagem do efeito máximo
Fonte: Adaptado de Helene (1981) apud Pereira (2008)

Um processo de produção do concreto correto e preciso é fundamental para garantir uma boa condição às estruturas. Assim, é necessário que haja um controle quanto à qualidade dos materiais a serem utilizados, tendo em vista que estes possuem influência direta em várias propriedades do concreto, dentre elas, a resistência. A resistência está relacionada diretamente com a tensão necessária para a ruptura do mesmo, sendo este valor, simultâneo à tensão máxima aplicável ou tensão limite. Do ponto de vista da microestrutura, a porosidade da matriz pasta cimento e da zona na de transição na interface entre a matriz e agregado graúdo determinam a resistência característica do concreto (Mehta e Monteiro, 1994). A figura a seguir, retirada de Mehta e Monteiro (1994), demonstra a influência que os componentes possuem na resistência do concreto.

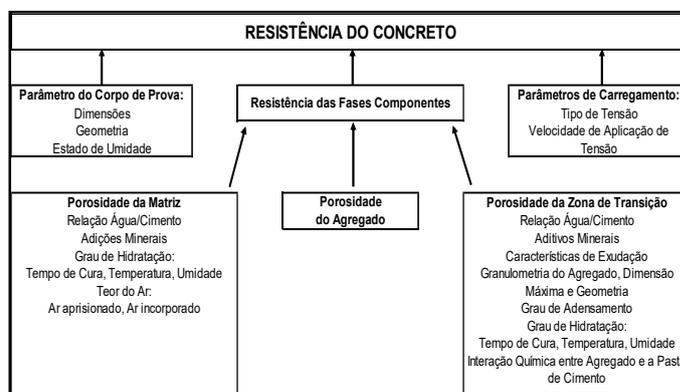


Figura 2 - Principais aspectos influentes na resistência do concreto
Fonte: Mehta e Monteiro (1994)

Nas seções que se seguem, serão analisados individualmente, os fatores que levam os materiais componentes a possuírem influência sob as resistências à compressão (f_c) e à tração na flexão ($f_{ct,m}$).

Características dos Agregados: A resistência do agregado não é um fator preponderante para a resistência do concreto convencional, já que as partículas dos agregados são bem mais resistentes do que a matriz e a zona de transição, à exceção dos concretos leves e de alta resistência. Entretanto, há outras características nos agregados que podem haver influência, como granulometria, forma e textura. A dimensão máxima de um agregado possui um efeito direto na resistência, à medida em que seu valor é alterado, considerando um mesmo consumo de cimento e consistência. Quanto maior a dimensão do agregado, menor é a quantidade de água de amassamento, entretanto, aumenta-se o número de microfissuras devido à formação de uma zona de transição mais fraca. O efeito irá variar de acordo com a relação água/cimento e a tensão aplicada. Conforme observado na figura 3, não há uma variação considerável no valor da resistência ao se alterar o diâmetro máximo do agregado em concretos de baixa resistência. Isso ocorre devido ao fato de que, a uma baixa relação água/cimento, ocorre uma redução do nível de porosidade nas zonas de transição possuem uma maior influência na resistência do concreto. Como as características da zona de transição possuem um maior efeito na resistência à tração do concreto, uma alteração das propriedades dos agregados iria implicar em uma variação da relação entre resistência à tração e à compressão (Mehta e Monteiro, 1994). Devido a sua forma angular, pedras britadas apresentam uma melhor aderência à argamassa que envolve os agregados, fazendo com que este material melhore as propriedades de resistência à tração, quando comparado com seixo rolado, por exemplo (Petrucci, 1982).

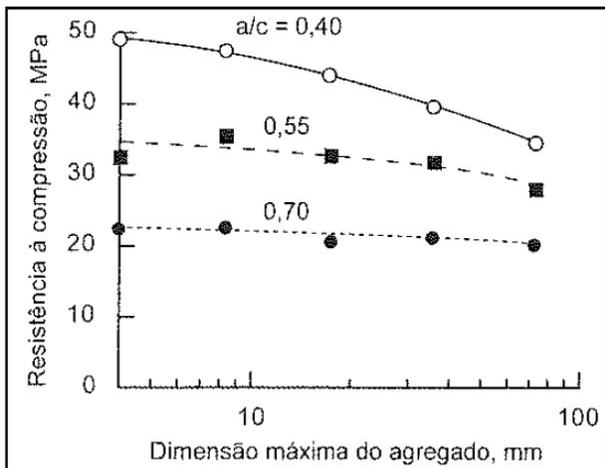


Figura 3. Influência do diâmetro máximo do agregado sobre a resistência à compressão. Fonte: Mehta e Monteiro (1994)

Forma e Dimensão dos corpos de prova: No Brasil, as especificações quanto a forma e dimensão dos corpos de prova de concreto estão presentes na norma ABNT NBR 5738:2015, “Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”. Os corpos de prova podem ser moldados em duas formas, a depender do ensaio a ser realizado: cilíndrico ou prismático. O primeiro é realizado, dentre outros, para a realização do ensaio de resistência à compressão axial. Sua altura é obrigatoriamente o dobro do diâmetro, que deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. Já os corpos de prova prismáticos são utilizados para o ensaio de resistência à tração na flexão e possuem seção transversal quadrada, com superfícies lisas e livres de saliência, sendo suas dimensões as seguintes:

Quadro 2. Dimensão do corpo de prova prismático e vão de ensaio. Fonte: ABNT NBR 5738:2015

Dimensão básica mm	Comprimento mínimo mm	Vão de ensaio ^a mm
100	350	300
150	500	450
250	800	750
450	1400	1350

^a Conforme ABNT NBR 12142

Para os corpos de prova cilíndricos, menor será a resistência à compressão à medida que ocorre um aumento no tamanho dos corpos

de prova, para um mesmo concreto. Isso pode ser observado no estudo realizado por Martins (2008) no qual foi realizada uma amostragem, nas dimensões de 10 x 20 cm e 15 x 30 cm, com concretos nas resistências de 25 MPa, 30 MPa e 40 MPa, conforme quadro a seguir:

Quadro 3 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão e análise estatística. Fonte: Martins (2008)

Nr. Caminhão	25 MPa		30 MPa		40 MPa	
	100x200 (mm)	150x300 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)	100x200 (mm)	150x300 (mm)
1	33,25	29,18	35,97	34,89	59,01	43,67
2	30,57	30,31	32,60	32,86	55,30	43,01
3	30,71	28,09	31,27	33,26	48,50	44,15
4	31,18	27,73	33,55	34,43	52,04	53,87
5	29,93	28,21	36,17	36,93	48,00	47,24
6	26,96	27,16	34,39	37,84	47,73	41,08
7	30,65	28,90	38,16	38,69	45,17	48,07
8	30,71	27,74	34,79	35,28	52,78	58,36
9	27,88	28,82	35,89	34,01	54,23	53,51
10	29,27	27,18	37,42	36,73	50,91	53,75
11	30,36	27,86	35,49	33,29	50,20	49,00
12	31,73	29,55	37,92	36,73	46,27	51,71
13	28,87	28,01	35,76	37,43	49,94	49,02
14	28,51	31,19	34,34	36,19	45,52	51,88
15	30,76	31,20	46,39	39,31	49,16	51,82
16	33,45	27,38	40,71	41,37	43,41	45,79
17	32,54	33,10	37,36	38,71	41,09	45,84
18	35,74	28,24	30,17	28,78	45,32	45,55
19	26,71	28,32	30,17	28,78	47,73	41,08
20	29,87	29,37	36,17	36,93	45,73	40,08
Média (MPa)	30,48	28,80	36,02	35,93	49,14	48,74
Desvio Padrão (MPa)	2,21	1,63	3,63	2,94	4,48	4,62
Coef. Variação (%)	7,24	5,66	10,07	8,18	9,11	9,48
Mediana (MPa)	30,61	28,23	35,82	36,46	48,83	48,54
Coef. Assimetria	-0,1696	1,0581	0,1623	-0,5391	0,2085	0,1330
Margem Erro (MPa)	1,032	0,762	1,711	1,387	2,113	2,181

2.4. Correlação entre Resistência à Tração na Flexão e à Compressão: A norma ABNT NBR 6118:2014, “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”, apresenta uma correlação entre os resultados de resistência à tração na flexão e à compressão, conforme demonstrado na equação abaixo:

$$FctM = \frac{0,3 \times Fc^{2/3}}{0,7} \tag{1}$$

Quadro 4 – Valores Médios de Resultados de Controle de Resistência de Concretos. Fonte: Adaptado de Franco (1976) apud Balbo (2009)

Traço	fc (MPa)	fctM (MPa)	Relação tração/compressão
1	38,9	5,7	14,7%
2	40,7	5,6	13,8%
3	41,4	6,1	14,7%
4	38,1	5,0	13,1%
5	41,2	5,3	12,9%
6	38,4	5,3	13,8%
7	43,0	5,1	11,9%
8	37,9	5,3	14,0%
9	36,0	4,7	13,1%
10	37,5	4,7	12,5%
11	36,5	4,8	13,2%
12	45,8	6,1	13,3%
13	43,0	5,2	12,1%
14	34,7	4,8	13,8%
15	38,3	5,4	14,1%
16	39,4	4,7	11,9%
17	42,0	4,8	11,4%
Valor Médio			13,2%
Desvio Padrão			1,0%
Coefficiente de Variação			7,4%

Pessoa Júnior (2014), indica que de cada amassada, deverão ser comparados os dados das resistências à tração na flexão, obtidos em laboratório, com a resistência correlata a partir da equação (1), devendo considerar como resistência do exemplar, aquela que apresentar o maior valor. Experimentalmente, Franco (1976), apud Balbo (2009), apresentou a seguinte quadro contendo a relação entre resultados de resistência à tração na flexão e à compressão para diferentes traços. Com base nos resultados, observamos uma correlação média de 13,2%, para um desvio padrão de 1,0% e coeficiente de variação de 7,4%. Observando a variação de resultado à medida em que se altera o traço, Balbo (2009) conclui que é necessário realizar a dosagem diretamente para as resistências à tração na flexão, e não adotar nenhum tipo de correlação e sim estudar, em laboratório, a resistência à compressão. Entretanto, Balbo (2009) ainda indica que resultados de ensaios de resistência à compressão podem ser indicadores para verificação do ganho de resistência a curto prazo e de anomalias iniciais.

2.5. Taxa de Crescimento da Resistência à Compressão do Concreto: Para se ter um entendimento da taxa de crescimento da resistência do concreto, é levado em consideração a expressão presente no item 12.3.3 da norma ABNT NBR 6118:2014:

$$f_c(j)/f_c(j=28) = \exp\{s [1 - (28/j)^{1/2}]\} \quad (2)$$

Onde:

s = 0,38 para concreto de cimento CIII e IV;

s = 0,25 para concreto de cimento CPI e II;

s = 0,20 para concreto de cimento CPV-ARI.

j = idade efetiva do concreto, em dias.

Aplicando a equação (2) para o cimento CP II, temos que a resistência à compressão aos 7 dias de idade, corresponde a 78% para a resistência aos 28 dias. Petruccio (1982) indica que a resistência à compressão para a idade de 28 dias corresponde de 1,25 a 1,50 vezes a resistência para a idade aos 7 dias, variando de acordo com o tipo de cimento, traço e condições de cura, dentre outros parâmetros.

2.6. Controle de Qualidade do Concreto para Obras Rodoviárias: O Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT indica a obrigatoriedade da realização de ensaios de controle de qualidade dos materiais constituintes do concreto e da própria mistura preparada. O principal indicador a ser observado no controle de qualidade do concreto utilizado é a resistência à tração na flexão, tendo em vista que é um essencial parâmetro durante o dimensionamento do pavimento. A determinação da resistência à tração na flexão, no Brasil, se dá pelo método dos dois cutelos, impondo-se no vão central do corpo de prova um momento fletor constante (Balbo, 2009). A norma em vigor é a ABNT NBR 12142:2010, “Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos”, que indica a utilização de corpos de prova, moldados conforme a ABNT NBR 5738:2015, “Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”. Entretanto, em vista das dificuldades deste ensaio, o Manual de Pavimentos Rígidos permite a correlação desta resistência com a resistência à compressão axial, em corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm ou 15x30 cm, devido a maior facilidade em se realizar esta última, de norma ABNT NBR 5739:2018, “Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”. Conforme a Norma DNIT 048/2004, “Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-deslizante – Especificação de serviço”, durante o processo de execução de pavimentos, o controle de qualidade do concreto utilizado é feito a partir de moldagens de corpos de prova em trechos de até 2.500 m². A quantidade mínima deverá ser de 6 exemplares, sendo cada exemplar constituído por, no mínimo, 2 corpos de prova prismáticos ou cilíndricos de uma mesma amassada, moldados conforme ABNT NBR 5738:2015. Durante o recebimento do concreto, é de suma importância a realização de um sistema de rastreabilidade eficiente. A identificação dos corpos de prova deverá constar os seguintes itens:

- Data de moldagem;
- Classe do concreto;
- Identificação da placa na qual foi lançada o concreto;
- Outras informações julgadas necessárias.

Após realização das moldagens, os exemplares deverão ser submetidos aos processos de cura e preparo das faces, para então serem submetidos aos ensaios de ruptura à tração na flexão (corpos de prova prismáticos) e à compressão axial (corpos de prova cilíndricos). A resistência obtida será a de maior valor dentre os 2 resultados do exemplar. Assim, a resistência à tração na flexão representativa para o lote será o maior valor entre os resultados correlatos e os obtidos a partir de ensaios de laboratório. De acordo com a Norma DNIT 048/2004, a resistência à tração na flexão característica estimada do concreto, para a idade de 28 dias, será determinada pela equação (2) abaixo:

$$f_{ctM,est} = f_{ctM28} - Ks \quad (3)$$

Onde:

$f_{ctM,est}$ = valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão;

f_{ctM28} = resistência média do concreto à tração na flexão, na idade de 28 dias;

K = coeficiente de distribuição de Student (ver quadro 5);

s = desvio padrão dos resultados.

Analogamente, temos para a resistência à compressão axial característica estimada do concreto, para a idade de 28 dias, a seguinte equação (3):

$$f_{ck,est} = f_{c28} - Ks \quad (4)$$

Onde:

$f_{ck,est}$ = valor estimado da resistência característica do concreto à compressão axial;

f_{c28} = resistência média do concreto à compressão axial, na idade de 28 dias;

K = coeficiente de distribuição de Student (ver quadro 5);

s = desvio padrão dos resultados.

Quadro 5. Coeficiente de distribuição de Student

Fonte: NORMA DNIT 048/2004

AMOSTRAGEM VARIÁVEL													
n	6	7	8	9	10	12	15	18	20	25	30	32	>32
k	0,920	0,906	0,896	0,889	0,883	0,876	0,868	0,863	0,861	0,857	0,854	0,842	0,842

A aceitação da resistência do concreto ocorrerá quando uma das seguintes condições a seguir ocorrer:

$$f_{ctM,est} \geq f_{ctM,k} \quad (5)$$

$$f_{ck,est} \geq f_{ck} \quad (6)$$

A Norma DNIT 048/2004, define que, para o caso da não aceitação do concreto ensaiado, deverá ser extraído, nas placas que apresentarem as menores resistências, um mínimo de 6 corpos de prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro, de acordo com a norma ABNT NBR 7680-1:2015, ou corpos de prova prismáticos, conforme norma ASTM-C 42, e ensaiados conforme a ABNT NBR 5739:2018 (compressão axial) e ABNT NBR 12142:2010 (tração na flexão), respectivamente. Os resultados obtidos deverão ser submetidos às condições de resistência característica estimada, demonstrada acima.

Se os resultados da resistência a partir da extração de testemunhos na pista ainda não forem aceitos, deve-se realizar uma revisão de projeto para verificação da adoção da resistência obtida no trecho. Para o caso de não haver possibilidade de modificação de projeto, uma das seguintes opções deverá ser determinada:

- Restrição do carregamento ou do uso do pavimento;
- Adoção de reforço para o pavimento;
- Demolição e reconstrução do pavimento.

3. ESTUDO DE CASO: Será abordado neste Capítulo 3, um estudo de caso referente a um controle tecnológico de concreto de cimento Portland de um pavimento aeroportuário na Região Metropolitana do Recife. Seguem-se as características da obra e do controle das placas de concreto, os resultados com as análises e interpretação dos mesmos.

Quadro 6 – Resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão (fc) e à tração na flexão (fctm). Fonte: Dados produzidos pelo autor (2019)

LOTE	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)							RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)					RELAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS À COMP. E À TRAÇÃO NA FLEXÃO	
	7 DIAS			28 DIAS				7 DIAS	28 DIAS				7 DIAS	28 DIAS
	MÉDIA LOTE	DESVIO PADRÃO	EST.	MÉDIA LOTE	DESVIO PADRÃO	EST.	CRESC.	MÉDIA LOTE	MÉDIA LOTE	DESVIO PADRÃO	EST.	CRESC.		
LOTE 01	37,3	2,74	34,9	43,5	3,13	40,7	16,6%	4,9	5,4	0,24	5,1	9,7%	12,5%	12,7%
LOTE 02	33,2	2,87	30,6	39,2	3,64	35,9	18,3%	5,1	5,7	0,17	5,6	12,2%	16,9%	15,8%
LOTE 03	35,7	2,73	33,2	41,1	3,17	38,3	15,3%	5,2	5,4	0,14	5,3	4,6%	15,5%	13,9%
LOTE 04	35,7	3,55	32,5	42,7	4,10	39,0	19,6%	-	5,6	0,18	5,4	-	-	13,1%
LOTE 05	35,6	5,16	30,9	42,8	4,46	38,8	20,5%	-	5,8	0,05	5,8	-	-	14,2%
LOTE 06	36,4	4,96	31,9	42,7	3,87	39,2	17,3%	-	5,4	0,56	4,8	-	-	12,7%
LOTE 07	36,3	3,76	32,9	42,4	4,30	38,5	16,6%	-	5,8	0,44	5,3	-	-	12,5%
LOTE 08	34,9	3,17	32,0	43,6	4,17	39,8	24,8%	4,6	5,7	0,27	5,5	24,6%	12,7%	12,3%
LOTE 09	32,5	3,73	29,1	38,9	2,35	36,8	19,9%	-	5,3	0,12	5,1	-	-	14,2%
LOTE 10	34,1	2,43	31,9	40,7	4,27	36,7	19,3%	-	5,4	0,15	5,2	-	-	12,9%
LOTE 11	32,1	2,06	30,2	38,0	1,13	37,0	18,6%	-	5,5	0,06	5,4	-	-	14,4%
LOTE 12	34,6	5,04	30,0	41,6	4,63	37,4	20,4%	-	5,2	0,16	5,1	-	-	11,5%
LOTE 13	31,5	4,12	27,7	38,0	2,42	35,8	20,7%	-	5,0	0,38	4,6	-	-	13,4%
LOTE 14	33,7	2,42	31,5	39,2	1,98	37,4	16,2%	-	5,2	0,19	5,0	-	-	12,8%
LOTE 15	37,0	3,86	33,5	42,3	3,80	38,8	14,2%	-	5,1	0,34	4,8	-	-	12,8%
LOTE 16	34,8	3,34	31,7	40,8	2,88	38,2	17,3%	-	5,4	0,17	5,2	-	-	12,0%
LOTE 17	34,3	3,10	31,4	40,3	3,56	37,1	17,7%	-	4,9	0,00	4,9	-	-	12,6%
LOTE 18	35,3	3,55	32,0	40,3	3,28	37,3	14,3%	-	5,3	0,31	5,0	-	-	14,0%
LOTE 19	36,9	3,73	33,5	42,0	2,98	39,3	13,8%	-	5,3	0,08	5,2	-	-	11,4%
LOTE 20	36,0	2,07	34,1	42,9	5,55	37,8	19,0%	-	5,7	0,03	5,7	-	-	14,5%
LOTE 21	34,7	5,84	29,3	42,1	3,89	38,5	21,3%	-	5,6	0,30	5,3	-	-	13,3%
LOTE 22	30,9	5,30	26,1	40,6	4,64	36,4	31,1%	-	5,7	0,02	5,7	-	-	15,8%
LOTE 23	34,1	1,80	32,5	40,3	1,86	38,6	18,2%	-	5,8	0,43	5,4	-	-	14,0%
LOTE 24	31,9	2,96	29,2	39,9	4,06	36,1	24,8%	-	5,8	0,09	5,7	-	-	14,7%
LOTE 25	33,6	2,83	31,1	40,1	3,21	37,2	19,2%	-	6,0	0,89	5,1	-	-	13,9%
LOTE 26	32,3	4,30	28,3	41,3	4,49	37,2	27,9%	-	5,8	0,02	5,8	-	-	13,9%
LOTE 27	33,1	2,73	30,6	41,1	2,58	38,7	24,1%	-	5,5	0,60	4,9	-	-	13,5%
LOTE 28	35,7	2,27	33,6	43,1	3,25	40,1	20,7%	-	5,6	0,12	5,5	-	-	12,1%
LOTE 29	33,0	2,33	30,9	41,5	2,98	38,8	25,8%	-	5,4	0,07	5,3	-	-	12,4%
LOTE 30	34,2	4,67	29,9	39,7	3,48	36,5	16,1%	-	4,8	0,10	4,7	-	-	12,3%
LOTE 31	32,0	3,11	29,2	38,2	2,77	35,7	19,4%	-	5,7	0,08	5,6	-	-	14,6%
LOTE 32	33,6	2,40	31,3	40,3	2,14	38,3	20,0%	-	5,3	0,33	5,0	-	-	13,1%
LOTE 33	32,7	2,90	30,1	39,2	2,85	36,6	19,8%	-	5,4	0,01	5,3	-	-	14,0%
LOTE 34	34,5	2,50	32,2	40,9	2,96	38,1	18,6%	-	5,7	0,41	5,3	-	-	13,7%
LOTE 35	35,3	2,79	32,8	40,5	2,10	38,6	14,6%	-	5,6	0,31	5,3	-	-	13,9%
LOTE 36	36,8	4,40	32,8	44,0	5,77	38,8	19,6%	-	5,4	0,16	5,3	-	-	14,9%
LOTE 37	34,7	4,74	30,1	39,9	4,41	35,7	15,1%	-	5,4	-	5,4	-	-	11,5%
LOTE 38	33,0	1,01	32,0	38,2	1,89	36,4	16,0%	-	5,0	-	5,0	-	-	12,1%
LOTE 39	32,4	2,42	30,2	38,9	2,50	36,7	20,3%	-	5,2	0,11	5,1	-	-	12,1%
LOTE 40	36,5	0,11	36,4	42,1	0,39	41,8	15,4%	-	5,4	-	5,4	-	-	12,8%
LOTE 41	32,7	3,99	28,9	41,8	4,03	37,9	27,7%	-	5,7	-	5,7	-	-	13,3%
LOTE 42	31,0	2,26	28,9	37,1	2,02	35,2	19,8%	-	5,0	-	5,0	-	-	13,8%

LOTE 43	32,7	4,79	28,1	40,2	4,41	36,0	23,2%	-	6,3	-	6,3	-	-	14,1%
LOTE 44	34,0	3,27	31,1	41,6	3,19	38,8	22,4%	-	6,2	0,05	6,2	-	-	14,1%
LOTE 45	33,6	2,11	31,5	41,8	1,61	40,3	24,5%	-	5,8	-	5,8	-	-	13,9%
LOTE 46	35,9	4,01	32,0	42,1	3,40	38,8	17,3%	-	6,3	-	6,3	-	-	14,1%
LOTE 47	36,2	4,67	32,1	42,5	5,47	37,7	17,5%	-	6,1	0,26	5,8	-	-	12,1%
LOTE 48	35,5	2,40	33,3	43,6	4,20	39,9	23,1%	-	6,2	0,37	5,9	-	-	12,7%
LOTE 49	35,3	4,49	31,3	43,4	5,21	38,8	23,0%	-	6,6	0,59	6,0	-	-	13,8%
LOTE 50	35,6	2,81	33,2	45,2	3,29	42,3	26,7%	5,3	6,3	0,31	6,0	18,3%	13,7%	14,0%
LOTE 51	35,9	4,82	31,7	42,4	5,15	37,9	18,2%	5,6	6,6	0,29	6,3	17,3%	13,5%	15,7%
LOTE 52	36,9	4,03	33,4	44,3	4,55	40,3	20,0%	5,2	5,4	0,16	5,2	3,1%	13,1%	12,1%
LOTE 53	37,3	3,07	34,5	44,1	3,10	41,3	18,4%	-	6,2	0,47	5,7	-	-	14,3%
LOTE 54	36,9	2,56	34,6	43,3	3,50	40,2	17,3%	-	6,2	0,32	5,9	-	-	13,8%
LOTE 55	37,0	3,26	34,1	45,0	3,51	41,9	21,6%	-	5,6	0,53	5,1	-	-	12,6%
LOTE 56	37,5	3,23	34,7	45,5	4,17	41,8	21,2%	-	6,7	0,36	6,3	-	-	13,8%
LOTE 57	38,0	2,98	35,3	44,6	3,51	41,5	17,6%	-	6,1	0,06	6,1	-	-	14,1%
LOTE 58	37,7	3,68	34,4	43,8	2,78	41,3	16,2%	-	5,9	0,68	5,3	-	-	12,8%
LOTE 59	37,2	3,24	34,3	43,7	2,68	41,3	17,5%	-	5,9	0,31	5,6	-	-	14,0%
LOTE 60	38,8	3,43	35,7	45,7	3,58	42,5	17,9%	-	6,0	0,18	5,9	-	-	14,4%
LOTE 61	37,0	2,76	34,5	43,8	3,82	40,4	18,4%	-	5,3	0,29	5,1	-	-	13,0%
LOTE 62	40,4	1,46	39,1	47,4	2,34	45,3	17,2%	-	6,6	0,14	6,5	-	-	13,6%
LOTE 63	39,5	3,74	36,2	46,4	3,78	43,1	17,6%	-	6,0	0,09	5,9	-	-	12,7%
LOTE 64	39,5	2,23	37,5	45,7	3,47	42,6	15,8%	-	5,6	0,10	5,5	-	-	11,6%
LOTE 65	38,9	2,47	36,7	46,7	3,68	43,4	20,1%	-	5,9	0,56	5,4	-	-	12,3%
LOTE 66	40,6	2,57	38,3	48,3	4,07	44,8	19,1%	-	5,8	0,29	5,5	-	-	11,4%
LOTE 67	39,1	2,40	36,9	48,4	4,35	44,4	23,8%	-	5,6	0,72	4,9	-	-	12,3%
LOTE 68	37,1	4,45	33,1	44,7	4,67	40,6	20,7%	-	6,0	0,15	5,8	-	-	13,5%
LOTE 69	42,5	2,11	40,6	48,6	2,87	46,0	14,3%	-	5,9	0,34	5,5	-	-	12,5%
LOTE 70	41,5	2,62	39,1	48,4	3,03	45,7	16,8%	-	5,7	-	5,7	-	-	11,7%
LOTE 71	40,1	2,97	37,4	46,4	2,35	44,2	15,7%	-	5,5	0,19	5,3	-	-	12,1%
LOTE 72	36,4	4,20	32,6	42,7	3,49	39,5	17,4%	-	5,7	0,34	5,4	-	-	12,1%
LOTE 73	37,8	0,68	37,2	45,1	2,42	42,9	19,2%	-	5,5	-	5,5	-	-	13,3%
LOTE 74	43,4	2,64	40,9	48,1	2,55	45,7	10,9%	-	6,0	-	6,0	-	-	11,8%
LOTE 75	39,0	2,74	36,4	47,3	2,10	45,3	21,3%	-	5,9	0,17	5,7	-	-	12,1%
LOTE 76	39,4	4,45	35,5	45,5	4,18	41,8	15,6%	-	5,3	0,12	5,2	-	-	11,9%
LOTE 77	39,4	4,47	35,4	46,9	3,76	43,6	19,1%	-	5,3	0,58	4,7	-	-	12,2%
LOTE 78	37,9	2,95	35,3	43,3	2,55	41,0	14,2%	-	5,6	0,05	5,5	-	-	12,3%
LOTE 79	35,7	2,86	33,2	40,7	2,00	39,0	14,1%	-	5,2	0,16	5,1	-	-	12,1%
LOTE 80	35,4	2,96	32,8	40,6	2,64	38,2	14,5%	-	5,8	0,38	5,4	-	-	13,8%

3.1. Características da Obra: A obra em apreço é um pavimento rígido em placas de concreto de Cimento Portland, assentadas sobre sub-base de brita graduada simples tratada com cimento (BGTC), com um teor de 3% de cimento, com 15 cm de espessura. As placas são retangulares, com dimensões variando entre 3 x 2,5 m e 2 x 4 m, com juntas transversais e longitudinais serradas e formas laterais metálicas. A espessura variou de 17 cm a 20 cm. O concreto foi produzido em central gravimétrica e transportado em caminhões betoneira com volume total de cerca de 4.000 m³. O cimento utilizado foi o CP-II-F-40. A obra teve um prazo total de 15 meses.

3.2. Controle da Resistência do Concreto: A resistência característica à compressão (f_{ck}), para as placas do pavimento, foi especificada em

35 MPa, enquanto que a resistência característica à tração na flexão ($f_{ctm,k}$), foi determinada em 5 MPa. O controle do concreto fresco constou em campo, para cada caminhão betoneira chegado ao canteiro de obras, da: verificação do abatimento do concreto ("slump test") e da moldagem de corpos de prova (cp's) cilíndricos. Para os ensaios de resistência à compressão, os referidos cp's, foram ensaiados, na idade de 07 dias, para uma avaliação prévia da resistência potencial do concreto e a indicação de providências cabíveis a serem adotadas, em caso de necessidade, e, na idade normativa de 28 dias, para a análise final de aceitação do concreto. Não foi especificado no projeto da obra, a realização de ensaios de resistência à tração na flexão para a idade de 7 dias. Entretanto, para se ter um conhecimento quanto ao crescimento desta resistência,

foram realizados este ensaio para alguns lotes, a saber: 01, 02, 03, 08, 48, 49 e 50. Para o controle da resistência do concreto, após a definição traço, foram estabelecidos os lotes constituídos por faixas com 7 a 9 placa, em função do programa de concretagem. Esses lotes variaram de 7 a 13 caminhões betoneiras, com cerca de 50 a 80 m³ cada. Esses critérios para os lotes atendem às normas do DNIT 048/2009-ES e da ABNT NBR 6118:2014. Para todos os lotes, foram moldados corpos de prova (cp's) cilíndricos de 10 x 20 cm para serem ensaiados à compressão, aos 7 e 28 dias. Também para todos os lotes, foram moldados corpos de prova (cp's) prismáticos de (15 x 15 x 50 cm), na quantidade de 2 CP's prismáticos para ensaios de traço na flexão aos 28 dias, e em alguns casos, também para 7 dias de idade. No quadro que se segue, encontram-se a relação dos lotes, os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão aos 7 e 28 dias de idade e correspondentes resistências estimadas para análise do concreto pelas normas supracitadas e ainda as resistências chamadas correlatas para o caso de tração na flexão prevista na norma DNIT 048/2004 – ES.

3.3. Análise e Interpretação dos Resultados: A aceitação dos lotes foi realizada conforme especificado no item de condições de conformidade e não conformidade da norma do DNIT 048/2004-ES. Para tal, é necessário que a resistência estimada característica seja igual ou superior à resistência especificada de projeto, neste caso, de 35 MPa para a resistência à compressão e 5,0 MPa para a tração na flexão. A resistência estimada característica será obtida a partir do valor médio da resistência do lote, do desvio padrão dos resultados, do coeficiente da distribuição de Student e do número de exemplares para a verificação da resistência característica estimada.

- Resultados dos Ensaio de Resistência à Compressão para as idades de 7 e 28 dias Com base nos valores encontrados a partir dos ensaios de laboratório durante o processo de controle de qualidade do concreto, podemos observar que para a idade de 7 dias (f_{c7}), foi obtido um valor de resistência média à compressão de 35,9 MPa, com desvio padrão de 2,7 MPa e coeficiente de variação de 7,5%, o que representa uma excelente homogeneidade do concreto produzido, com valor absoluto máximo de 43,4 MPa e mínimo de 30,9 MPa. Igualmente para a idade de 28 dias (f_{c28}), os parâmetros estatísticos encontrados foram de um valor médio igual a 42,6 MPa, desvio padrão de 2,8 MPa, coeficiente de variação de 6,6%, confirmando a excelente homogeneidade encontrada aos 7 dias de idade, com valores mínimo e máximo absoluto de 37,1 MPa e 48,6 MPa. - Resultados dos Ensaio de Resistência à Tração na Flexão para as idades de 7 e 28 dias. Como já citado, a realização de ensaios de resistência à tração na flexão para a idade de 7 dias (f_{ctM7}) não estava exigida no programa de controle de qualidade da obra, entretanto, para se ter uma ordem de grandeza do índice de crescimento e do comportamento inicial dessa resistência, foram rompidos corpos de prova prismáticos a esta idade para 7 lotes, obtendo-se um valor médio de 5,1 MPa, com desvio padrão de 0,3 MPa, coeficiente de variação de 6,3%, caracterizando uma excelente homogeneidade do concreto, com valor absoluto máximo de 5,6 MPa e mínimo de 4,6 MPa. Para os resultados aos 28 dias de idade (f_{ctM28}), também foram observados resultados bastante homogêneos, com valor médio encontrado de 5,7 MPa, desvio padrão igual a 0,4 MPa, coeficiente de variação de 7,2 % e com valor absoluto máximo de 6,7 MPa e mínimo de 4,8 MPa.

- Histogramas de Resultados

Nas figuras a seguir, são apresentados os histogramas de distribuição de frequência dos resultados referentes aos valores de resistência à compressão para as idades de 7 e 28 dias e de resistência à tração na flexão para a idade de 28 dias, com classes de amplitude de 1,5 MPa para a resistência à compressão e de 0,4 MPa para a resistência à tração na flexão.

- Resultados de Resistência à Tração na Flexão Correlatos Obtidos

A partir de correlação com os resultados de resistência à compressão de cada série, foram calculados os valores equivalentes da resistência à tração na flexão correlatos, com base na expressão demonstrada na equação (1).

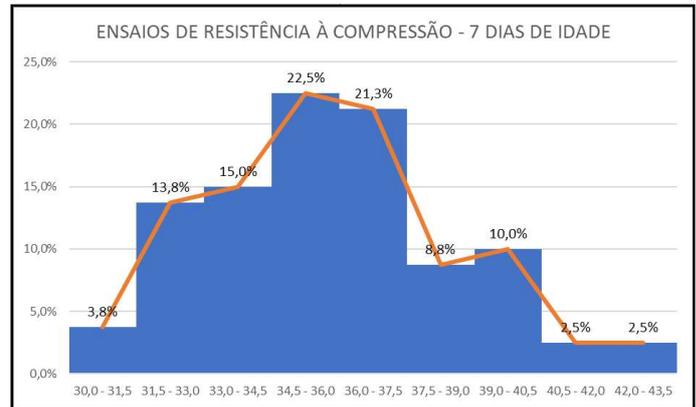


Figura 4. Histogramas de distribuição de frequência dos resultados de resistência à compressão para a idade de 7 dias.

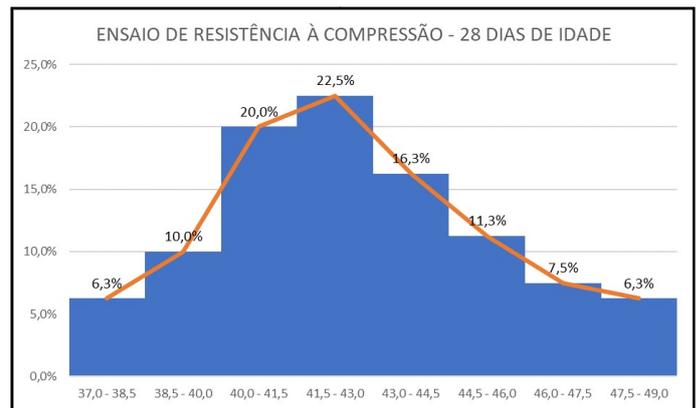


Figura 5: Histogramas de distribuição de frequência dos resultados de resistência à compressão para a idade de 28 dias.
Fonte: Dados produzidos pelo autor (2019)

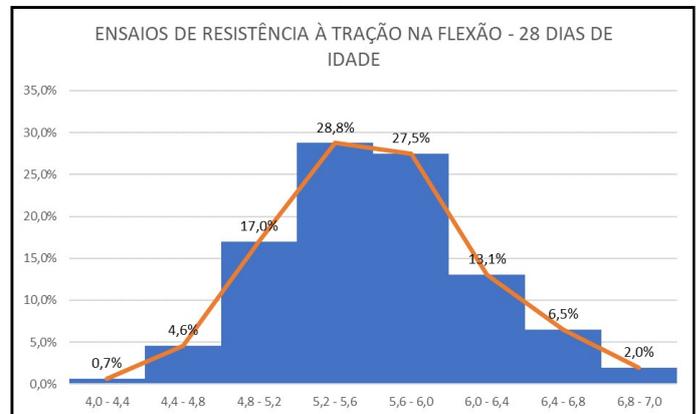


Figura 6: Histogramas de distribuição de frequência dos resultados de resistência à tração na flexão para a idade de 28 dias.
Fonte: Dados produzidos pelo autor (2019)

Após a aplicação dos resultados de resistência à compressão de cada série à equação (1), os valores estatísticos para a resistência correlata, aos 28 dias, foi de 5,3 MPa, para um desvio padrão de 0,3 MPa e coeficiente de variação de 6,5%. Os valores máximo e mínimo absolutos foram respectivamente de 6,0 MPa e 4,6 MPa. O valor correspondente à resistência à tração da série, será o maior entre os resultados de laboratório e os correlatos. Para os dados obtidos, observa-se que das 153 séries submetidas à moldagem de corpos de prova prismático, 39 (25,5%) tiveram seus resultados relacionados à resistência correlata.

- Resistência característica estimada – DNIT 048/2004

No presente estudo, foi realizado o cálculo dos valores estimados das resistências características para os ensaios de resistência à compressão (aos 7 e 28 dias de idade) e de resistência à tração na flexão (28 dias de idade), conforme especificação DNIT 048/2004 -

ES. A especificação supracitada não exige a determinação de uma resistência estimada para a idade de 7 dias, entretanto, é pertinente fazer tal análise a fim de se observar o resultado da resistência potencial do concreto e indicar, caso necessário, providências a serem adotadas nos casos de baixos valores. Esses resultados apresentaram valor médio de 33,0 MPa, para um desvio padrão de 3,0 MPa e coeficiente de variação de 9,1%. Os valores máximo e mínimo absolutos foram respectivamente de 26,1 MPa e 40,9 MPa, já atendendo praticamente ao valor especificado normativo aos 28 dias. Analisando estatisticamente a resistência característica à compressão estimada, na idade de 28 dias, é observado um valor médio de 39,6 MPa, para um desvio padrão de 2,8 MPa e coeficiente de variação de 7,0%, também apresentando uma excelente homogeneidade, com valores máximo e mínimo absolutos de 46,0 MPa e 35,2 MPa, respectivamente. Esses resultados superaram com folgas às especificações de projeto estipuladas para a obra. Os parâmetros estatísticos para os resultados obtidos a partir dos resultados das resistências características à tração na flexão estimada, para a idade de 28 dias, foram de um valor médio igual 5,5 MPa, desvio padrão de 0,4 MPa e coeficiente de variação de 7,7%, variando entre 4,6 MPa e 6,5 MPa.

- Evolução da Resistência de 7 para 28 dias

Considerando-se os valores médios da resistência à compressão aos 7 e 28 dias, foi verificada uma relação entre elas de $\frac{f_{c28}}{f_{c7}} = 1,191$, ou seja, um crescimento percentual de 19,1%, considerando o traço, tipo de cimento e condições de cura deste concreto.

- Relação entre resistência à tração na flexão e compressão.

Igualmente ao exposto acima, considerando os valores médios das resistências à tração na flexão (f_{ctm28}) e à compressão (f_{c28}), foi obtida uma relação $\frac{f_{ctm28}}{f_{c28}} = 0,132$, ou seja, a resistência à tração na flexão foi cerca de 13,2% da resistência à compressão, concordando com os valores referidos na literatura técnica pertinente.

4. CONCLUSÕES

Com base no exposto nos capítulos anteriores, pode-se concluir que:

- O controle de qualidade do concreto nas obras de pavimentação, no presente caso, se mostrou de grande importância para a verificação do atendimento do concreto às especificações de projeto previstas na execução da obra;
- A relação entre as resistências à compressão média, aos 7 e 28 dias foi de 1,191, representando um crescimento de cerca de 19,1%, para o traço, tipo de cimento, corpos de prova e condições de cura utilizados, estando levemente abaixo aos valores discutidos na literatura.
- A resistência à tração na flexão média do concreto do pavimento, para o caso estudado, foi da ordem de 13,2% da correspondente resistência à compressão, concordando com as referências constantes da literatura, para a idade de 28 dias;

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7680-1: Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- BALBO, J., Pavimentos de Concreto, Oficina de Textos, São Paulo, 2009.
- CLÍMACO, J., Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, Dimensionamento e Verificação, Editora Universidade de Brasília: Finatex, Brasília, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Manual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. 047/2004 – ES Pavimento Rígido – Execução de Pavimento Rígido com Equipamento de pequeno porte – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. 048/2004 – ES Pavimento Rígido – Execução de Pavimento Rígido com Equipamento de fôrma-trilho – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. 049/2013 – ES Pavimento Rígido – Execução de Pavimento Rígido com Equipamento de fôrma-deslizante – Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 2013.
- HELENE, P. e TERZIAN, P., Manual de Dosagem e Controle do Concreto, Editora Pini, São Paulo, 1993.
- MARTINS, D. G., Influência do Tamanho do Corpo de Prova nos Resultados de Ensaio de Módulo de Deformação e Resistência à Compressão e Suas Correlações para Concretos Produzidos em Goiânia/GO, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.
- MEHTA, P. K e MONTEIRO, P. J. M., Concreto – Estrutura, propriedades e materiais, IBRACON, São Paulo, 1994.
- PETRÚCCIO, E. G. R., Concreto de Cimento Portland, Editora Globo, São Paulo, 1982.
- PEREIRA, M. da S., Controle da Resistência do Concreto: Paradigmas e Variabilidades – Estudo de Caso, Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
