ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTIMADORES NORMATIZADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO APLICADA AO CONCRETO UTILIZADO NA LAJE DE FUNDO DO DIQUE SECO DO POLO NAVAL DO RIO GRANDE NA CIDADE DE RIO GRANDE-RS

Fábio Costa Magalhães[1], Mauro de V. Real[2]

RESUMO
A variabilidade da resistência do concreto torna fundamental a utilização de metodologias estatísticas capazes de estabelecer parâmetros para a aceitação das estruturas. A utilização de um grande número de resultados práticos de ensaios de resistência é de grande importância para a validação e calibração das normas e especificações técnicas existentes. O presente trabalho realizou uma análise comparativa entre as metodologias de estimativa de resistência à compressão de diferentes regiões produtoras de concreto. Foram utilizados os resultados dos ensaios realizados na construção do dique seco do Estaleiro Rio Grande para a realização da comparação entre as estimativas de resistência característica definidas pelas normas NBR 12655 [6], ACI 214R-02 [1] e NP-EN-206-1 [9].

PALAVRAS-CHAVE: Estudo probabilístico. Concreto. Resistência à compressão.

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN MODELS ESTIMATE CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH APPLIED TO CONCRETE OF BACKGROUND SLAB OF DRYDOCK IN THE RIO GRANDE MARITIME COMPLEX

ABSTRACT
Due to the variability of the concrete strength, it is fundamental to use statistical methodologies to establish the parameters for the concrete structures acceptance. The utilization of a large number of strength test results is very important to the validation and calibration of the existing standard codes and technical specifications. In this study a comparative analysis of methodologies to estimate the characteristic compressive strength of concrete was made. The tests results obtained during the construction of the dry dock in the Rio Grande Maritime Complex were used to carry out the comparison of the estimates of the concrete characteristic strength as defined by NBR 12655 [6], ACI 214R-02 [1] and NP-EN-206-1 [9].

KEY WORDS: Probabilistic analysis. Concrete. Compressive strength.

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Rio Grande – IFRS – fabio.magalhaes@riogrande.ifrs.edu.br

[2] Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG – mauroreal@furg.br

1. INTRODUÇÃO

1.1 Dique seco

No atual contexto econômico da região sul do estado do Rio Grande do Sul, sobretudo a cidade do Rio Grande, teve-se um incremento no número de obras civis, principalmente em obras relacionadas ao setor portuário. Neste cenário, uma das principais construções que impulsionou a economia local e possibilitou a consolidação deste desenvolvimento foi o dique seco do Polo Naval do Rio Grande. Diques secos são estruturas construídas à beira mar que tem como função a construção, reparo ou conversão de equipamentos navais, tais como navios, submarinos e plataformas de extração de petróleo. O dique seco construído no Superporto da cidade de Rio Grande possui 350 metros de comprimento, 133 metros de largura e 14 metros de profundidade, e está posicionado às margens da Laguna dos Patos, próximo ao encontro entre esta e o Oceano Atlântico (Figura 1).

Sendo esta uma construção à beira mar e, portanto, sujeita a grandes esforços provenientes de carregamentos externos e com solicitações severas em relação à durabilidade; o desempenho do concreto utilizado se torna fator fundamental na vida útil da obra. Desta forma, um rigoroso controle de qualidade foi utilizado na construção do Polo Naval do Rio Grande. No âmbito das estruturas de concreto, estas possuem amostragem de 100 % das amassadas utilizadas, conforme estabelece o item 6.2.3.2 da norma brasileira NBR 12655 [6].

Todo este rigor técnico, característico das grandes obras portuárias, resultou em um amplo programa de controle das propriedades do concreto; proporcionando uma grande quantidade de resultados experimentais, os quais foram utilizados no presente trabalho.

Este trabalho estabelece uma análise comparativa entre os modelos de estimativa de resistência à compressão determinadas por distintas normas de concreto. Foram comparados os estimadores definidos pelas normas ABNT NBR 12655 [6], pela norma norte-americana do American Concrete Institute ACI-318 [2] e pela norma portuguesa NP-EN-206 [9], que consiste na versão portuguesa da consolidação da norma européia EN-206 e suas emendas.

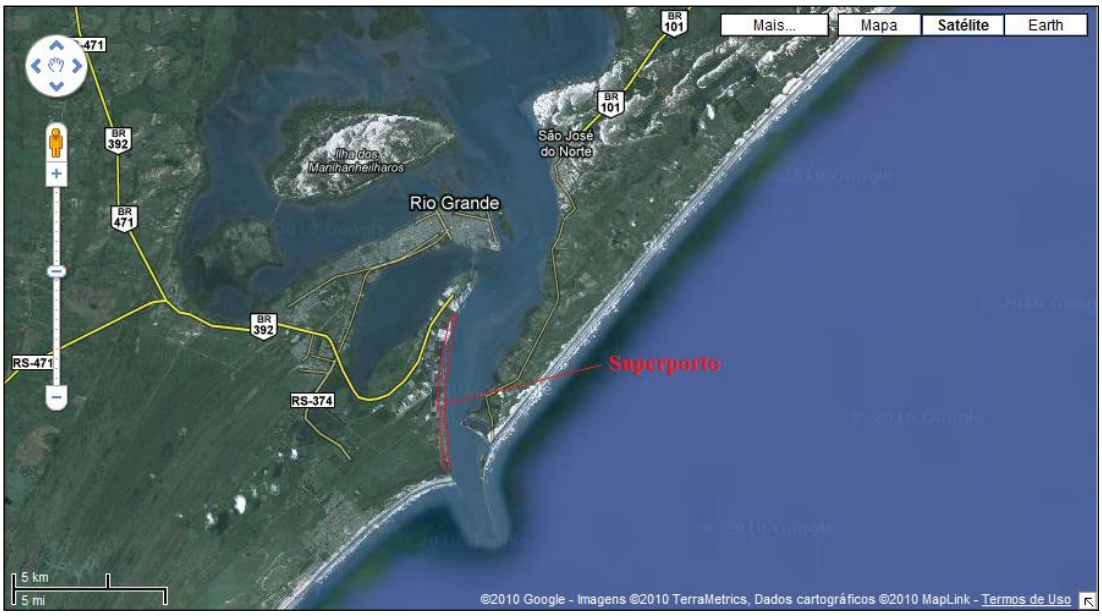


FIGURA 1 – Localização da região do Superporto no extremo sul da Laguna dos Patos na cidade de Rio Grande - RS (Fonte: Google®)

1.2 Características do Concreto Analisado

O presente trabalho apresenta análises estatísticas baseadas nos ensaios de resistência à compressão do concreto utilizado na construção da laje de fundo do dique seco do Polo Naval do Rio Grande.

A resistência à compressão (f_{ck}) especificada é de 40 MPa, além de algumas recomendações de projeto com relação ao ambiente extremamente agressivo no qual esta peça está inserida. Dentre estas recomendações, destacam-se:

- Consumo mínimo de 400 kg/m³ de aglomerante;
- Consumo mínimo de 5 % de sílica ativa;
- Consumo máximo de 180 l/m³ de água.

Estas exigências visam atender às normas ABNT 12655 [6] e 6118 [4], que estabelecem classe ≥ C40, relação água/cimento ≥ 0,45 e consumo de cimento ≥ 360 kg/m³ para estruturas construídas em locais cuja classe de agressividade ambiental é IV.

A laje de fundo do dique seco foi construída com um total de cerca de quarenta mil metros cúbicos de concreto; lançados, quase que na totalidade, com o mesmo traço. Foram agrupados, neste estudo, concretos utilizados com a dosagem por metro cúbico definida na Tabela 1.

TABELA 1 – Traço do concreto analisado

Discriminação	Unid.	Quantidade por m³	Observações
Cimento CP-N Ancap	kg	380	f_{ck} = 40 MPa
Sílica Ativa Silmix	kg	20	
Brita 01	kg	1023	abatimento 120 ± 10 mm
Areia Média	kg	574	
Areia Fina	kg	143	água/aglomerante 0,425
Aditivo Polifuncional RheoTec 418	l	3,23	
Água	l	170	Umidade 0%

Dentre os materiais que compõe o traço, pode-se destacar a utilização do cimento tipo CP-N Ancap. Este produto é de fabricação uruguaia, portanto, não possui a classificação estabelecida pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). No entanto, suas características físicas mostram uma grande semelhança com a classificação do Cimento Portland Comum CP-I. Esta consideração deve-se ao fato de o cimento em questão atender a todas as especificações estabelecidas pela NBR 5732 [3].

TABELA 2 – Características Físicas do Cimento CP-N Ancap

Ensaio		Resultados	
Massa Específica (g/cm³)		3,17	
Finura # 200		6,3	
Tempos de Pega (h)	Início	04:30	
	Final	05:30	
Resistência à Compressão Média (MPa)		3 dias	21,0
		7 dias	35,1
		28 dias	55,0

Como aditivo polifuncional, foi utilizado o plastificante redutor de água Tec-Mult 418 RheoTec (atual RheoSet). A adição deste tipo de aditivo proporciona a redução da água de amassamento, garantindo a coesão e a manutenção da plasticidade por um período mais prolongado. A Tabela 3 apresenta as características do aditivo. Souza et. al. [14] relatam que, quando utilizados de forma correta, os aditivos garantem melhora na durabilidade do concreto mediante a resistência às ações físicas, às ações mecânicas e às ações químicas. Além disso, estes autores comentam sobre a maior regularidade da produção do concreto quando utilizado algum tipo de aditivo, da redução de custos e otimização (racionalização) na dosagem dos materiais.

TABELA 3 – Ficha técnica do aditivo utilizado (Fonte: RheoSet)

Aditivo	Massa Específica (g/cm^3)	pH	Aspecto/ Cor
RheoTec Tec-Mult 418	1,2 ± 0,02	9,0 ± 1,0	Líquido castanho escuro

A sílica-ativa, caracterizada segundo a norma brasileira NBR 13956 [7], têm a utilização recomendada em virtude de seu potencial como agente pozolânico. O efeito pozolânico produz concretos com melhores características mecânicas e químicas. Como conseqüência tem-se um aumento considerável na vida útil das estruturas. A sílica-ativa utilizada nos concretos aplicados está caracterizada na Tabela 4.

TABELA 4 – Ficha técnica da adição utilizada (Fonte: Allquímica)

Adição	Base Química	Massa Específica (g/cm^3)	Aspecto / Cor
Sílica Ativa Silmix	Dióxido de Silício	2,2	Pó ultrafino cinza

Os agregados utilizados na composição do traço são de origem natural, extraídos da região de Pelotas-RS. Suas características físicas estão apresentadas nas Tabelas 5 e 6.

TABELA 5 – Caracterização física do agregado graúdo

Ensaio	Unid.	Resultados
Massa Unitária	kg/dm³	1,34
Teor de Material Fino	%	0,40%
Módulo de Finura	-	6,89
Massa Específica do Agregado Seco	g/cm³	2,67
Dimensão Máxima Característica	mm	19,0

TABELA 6 – Caracterização física do agregado miúdo

Ensaio	Unid.	Resultados	
		Areia Fina	Areia Média
Massa Unitária	kg/dm³	1,45	1,55
Teor de Material Fino	%	1,60	0,60
Módulo de Finura	-	1,51	2,85
Massa Específica do Agregado Seco	g/cm³	2,56	2,58

Em virtude do grande período de execução da laje de fundo do dique (aproximadamente 1 ano), tiveram-se diversos lotes de materiais consumidos. Desta forma, o concreto esteve sempre sujeito a variações nas características dos materiais utilizados, sobretudo quando se trata da variação natural das jazidas de agregados, miúdo e graúdo, que variam conforme as condições de extração dos mesmos. Outro fator de grande importância e que acarreta grandes variações é a alteração típica no processo produtivo do cimento, sobretudo nas etapas de extração, forno e moagem. Os valores apresentados neste trabalho referem-se à média apresentada ao longo destes 11 meses de produção.

1.3 Concreto com adição de sílica ativa

Quando o concreto passou a ter seu uso mais difundido, há cerca de 100 anos, acreditava-se que este material era praticamente eterno. Pensava-se que a utilização do concreto eliminava em sua totalidade a necessidade de manutenções nas estruturas com ele construídas. O surgimento de diversas manifestações patológicas, somado à ocorrência de acidentes com estruturas de concreto mostrou a necessidade de se preocupar com a durabilidade deste material e no aumento de sua vida útil. Quanto mais agressivo o ambiente no qual uma estrutura de concreto está inserida, maior é a tendência de este apresentar manifestações patológicas.

Diante destes fatos, e pela severidade do ambiente em que está inserida a laje de fundo do dique (Figura 2), o projeto da estrutura de concreto do estaleiro teve um grande estudo no que diz respeito às condições que visam sua durabilidade. Com isso, durante a fase de projeto e especificações, foram buscadas alternativas para melhorar o desempenho da construção.



FIGURA 2 – Vista aérea da concretagem da laje de fundo do dique seco (MAGALHÃES [10])

Neste contexto, surge a consideração sobre a utilização do concreto de alto desempenho (CAD). O CAD é um concreto que apresenta vantagens quando comparado a um concreto dito comum, propiciando benefícios para a estrutura

executada. As exigências, quanto ao consumo máximo de água, consumo mínimo de aglomerante e adição de sílica ativa, visam aumentar a durabilidade da estrutura frente à agressividade a que esta está sujeita.

Sílica ativa ou microsílica é um material com propriedades pozolânicas que, quando adicionada ao concreto, atua quimicamente e fisicamente, melhorando as características do mesmo. A utilização de sílica ativa resulta em um concreto mais resistente, diminuindo a possibilidade de lixiviação e aumentando a resistência à abrasão; propriedades muito importantes na manutenção da estrutura da laje de fundo do dique seco. Conforme estudo em laboratório de Carmo et. al. [8], a utilização de sílica ativa na elaboração do CAD, "[...] além do ótimo resultado relacionado à durabilidade do concreto, também proporcionou à estrutura altos valores de resistência, fazendo com que se começasse a utilizar este resíduo com o intuito de se obter o concreto de alta resistência".

2. ESTUDO PROBABILÍSTICO DO CONCRETO UTILIZADO NA LAJE DE FUNDO DO DIQUE SECO

O presente trabalho apresenta a análise baseada em 98 concretagens realizadas em 98 diferentes dias ao longo de aproximadamente 11 meses (42 semanas) na construção da laje de fundo do dique seco. Isto representa um total de cerca de 26 mil metros cúbicos de concreto com a mesma especificação e mesma dosagem. Foram realizadas amostragens em 100 % das amassadas de concreto e rompidos corpos de prova com regularidade conforme apresentado na Tabela 7.

TABELA 7 – Periodicidade de rompimentos de corpos de prova de concreto em relação ao número de amassadas lançadas na laje de fundo

Idade	Percentual de amassadas com corpos de prova rompidos (%)
3 dias	50
7 dias	50
28 dias	100
91 dias	20

O percentual de betonadas de concreto com corpos de prova rompidos refere-se à definição de exemplar expresso pela Ref. [6]. Sendo assim, para cada idade e cada amassada de concreto foram rompidos dois CP's; sendo o maior valor dentre estes definido como a resistência à compressão do concreto deste caminhão betoneira na idade considerada.

Como forma de compactar o estudo sem perder as variações pontuais que tendem a ocorrer durante um processo de concretagem tão longo, dividiu-se a análise estatística em lotes. Cada um destes lotes correspondente a uma quinzena de produção de concreto. Devido à variação na velocidade de execução da laje de fundo do dique, as amostras (lotes) possuem números de elementos distintos.

A Figura 3 apresenta a variação temporal das médias das resistências à compressão nas idade de 3, 7, 28 e 91 dias dos concretos aplicados na obra; divididos em lotes por quinzena, desde o dia 27/11/2008 até o dia 30/09/2009. A Tabela 8 apresenta o período da construção referente a cada um dos lotes.

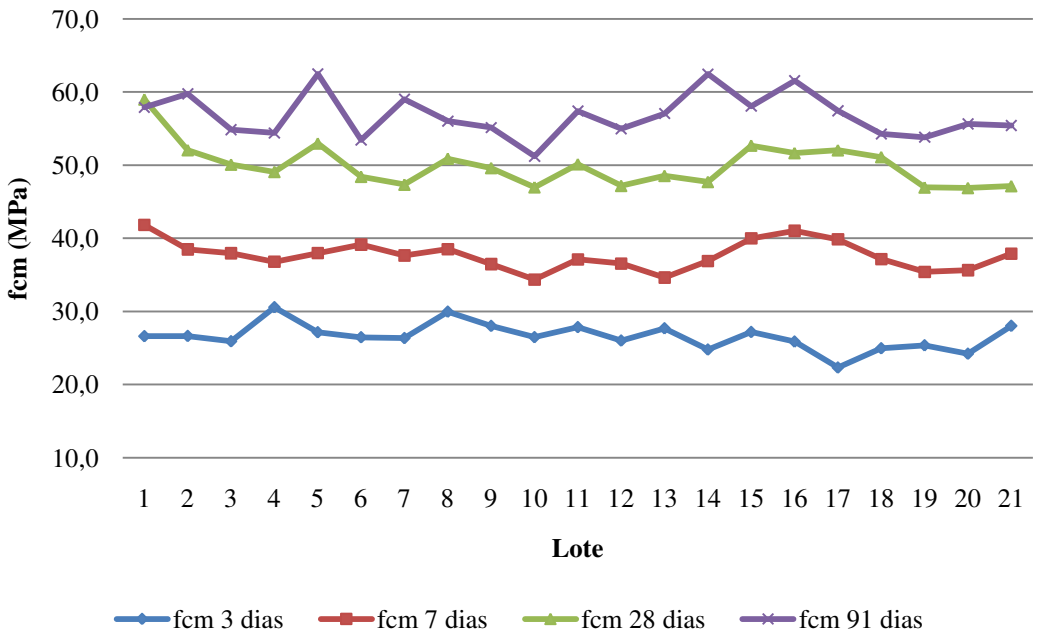


FIGURA 3 – Variação das médias das resistências à compressão dos lotes para as idades de 3, 7, 28 e 91 dias

TABELA 8 – Divisão dos lotes de concreto analisados em função do período da construção

Lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Quinzena	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Mês	NOV	DEZ	DEZ	JAN	JAN	FEV	FEV	MAR	MAR	ABR	ABR
Ano	2008	2008	2008	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009
Lote	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Quinzena	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Mês	MAI	MAI	JUN	JUN	JUL	JUL	AGO	AGO	SET	SET	
Ano	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	

2.1 Modelo de estimativa da resistência à compressão do concreto segundo a NBR 12655 [6]

A norma brasileira, representada pela Ref. [6], estabelece duas metodologias distintas para a aceitação de uma dada estrutura de concreto; representadas pelos métodos por amostragem parcial e por amostragem total. O primeiro caso consiste

em concretagens nas quais são retiradas amostras de algumas cargas do concreto utilizado na estrutura. O segundo caso, por sua vez, caracteriza-se por retirar amostras de todas as amassadas de concreto utilizadas na peça analisada.

Uma análise das periodicidades de rompimentos estabelecidas na Tabela 7 mostra que, para a idade de 28 dias foi adotada a amostragem total das betonadas lançadas na laje. Para os demais casos, a amostragem parcial foi adotada à medida que algumas betonadas utilizadas não tiveram amostras rompidas.

2.1.1 Controle do concreto por amostragem parcial ($f_{ck,est}^{1}$)

O controle estatístico por amostragem parcial consiste em retirar exemplares de algumas betonadas. Neste caso, o número mínimo de exemplares é 6 e 12 para concretos dos grupos I e II, respectivamente. Com o grupo do concreto sendo definido segundo a NBR 8953 [5]. No caso do concreto considerado neste estudo, tem-se classificação C40, pertencendo ao grupo I.

Em situações em que se tenha um número de elementos n tal que $6 \leq n < 20$, a resistência característica estimada é determinada pela equação (1):

$$f_{ck,est} = 2.\frac{f_1 + f_2 + ... + f_{m-1}}{m-1} - f_m \qquad (1)$$

Onde: $m = n/2$ e $f_1, f_2, ..., f_n$ são os valores de resistência dos exemplares tomados em ordem crescente.

No entanto, em nenhuma situação é admitido um valor de $f_{ck,est}$ inferior a $\Psi_6.f_1$. Onde Ψ_6 é dado pela Tabela 9.

TABELA 9 – Valores de Ψ_6 (Ref. [6])

Condição de Preparo	Número de Exemplares										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02

NOTA: Os valores de 2 a 5 são empregados para os casos excepcionais

Quando o número de elementos for superior a vinte, $n \geq 20$, a resistência característica estimada é dada por:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1{,}65.s \qquad (2)$$

Onde, f_{cm} e s, expressam em MPa, a resistência média e o desvio padrão da amostra, respectivamente.

2.1.2 Controle do concreto por amostragem total ($f_{ck,est}^2$)

A análise estatística com amostragem de 100 % consiste no ensaio de exemplares de todas as amassadas de concreto. Neste caso, existem dois métodos distintos para a determinação da resistência característica estimada.

Para $n \leq 20$, o valor da resistência característica estimada do lote é igual ao valor da menor resistência dentre os exemplares ensaiados; ou seja, $f_{ck,est} = f_1$.

Para $n > 20$, $f_{ck,est} = f_i$, onde $i = 0{,}05.n$. Ou seja, a resistência estimada é igual ao valor do elemento que representa o quinto percentil dentre os exemplares colocados em ordem crescente. Para os casos em que i for fracionário, adota-se o valor inteiro imediatamente superior.

2.1.3 Avaliação dos modelos de estimativa de resistência à compressão

Através das duas metodologias de controle estatístico propostas pela Ref. [6], estabeleceu-se o gráfico da Figura 4. Nota-se que as estimativas apresentam resultados muito semelhantes. Apenas as estimativas do lote 2 apresentaram diferença entre as estimativas superior a 2,0 MPa. No entanto, a média das diferenças entre os resultados de estimativa foi de 0,1 MPa. Este resultado mostra que, embora a NBR 12655 [6] faça distinção de qual estimativa deve ser utilizada em virtude da metodologia de amostragem adotada, esta escolha mostra-se praticamente irrelevante em termos práticos.

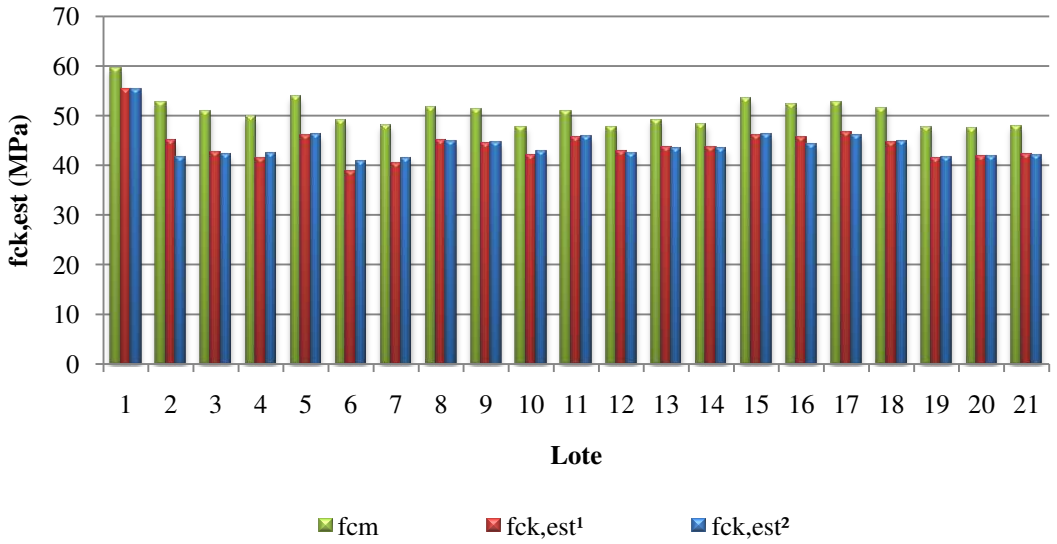


FIGURA 4 – Resistências médias e resistências estimadas por lote segundo as metodologias da NBR 12655 [6]

A Figura 4 apresenta os valores de resistência à compressão estimados pelas duas propostas da normatização brasileira e uma comparação com a resistência média dentre os exemplares do lote.

2.2 Modelo de estimativa da resistência à compressão do concreto segundo o American Concrete Institute ACI 214R-02 [1]

O documento norte-americano de análises de concreto, ACI-214R-02 [1], define o modelo proposto pela norma ACI-318 [2] como critério de aceitação e de tolerâncias acerca da resistência à compressão do concreto. De forma similar ao modelo brasileiro, o ACI admite como Normal de distribuição de probabilidades de

resistência. A relação entre a resistência de dosagem (f'_{cr}) e a resistência característica à compressão (f'_c) é estabelecida segundo as equações a seguir:

$$f'_{cr} = f'_c + 1{,}34.s \quad (3)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2{,}33.s - 3{,}45 \quad (4)$$

$$f'_{cr} = 0{,}90\, f'_c + 2{,}33.s \quad (5)$$

As equações (3) e (4) são equivalentes quando o desvio padrão atinge um valor de aproximadamente 3,45 MPa. Ambas referem-se a concretos com resistência característica ≤ 34,5 MPa. Para concretos com resistência característica à compressão superior a 34,5 MPa a Ref. [2] determina o uso da equação (5) em substituição à equação (4). Considerando-se que o concreto da laje de fundo do dique estudado no presente trabalho possui f_{ck} = 40 MPa, foram utilizadas a equações (3) e (5).

O modelo norte-americano define como a resistência de uma determinada amassada de concreto como a média de, pelo menos, dois corpos de prova de concreto.

A Figura 5 apresenta os valores das resistências estimadas pela metodologia norte-americana de cada um dos lotes para cada idade de rompimento, comparando estes com a resistência média à compressão do lote.

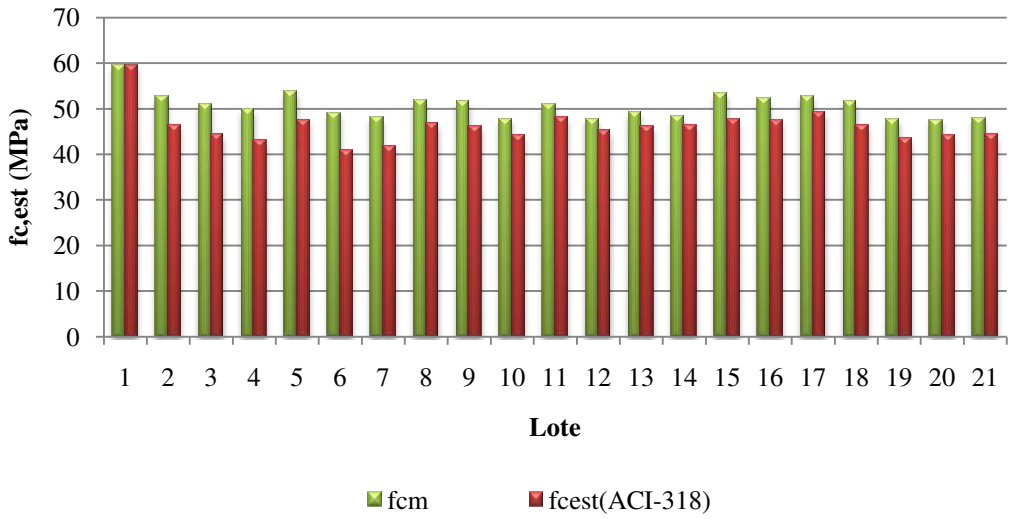


FIGURA 5 – Resistências médias e resistências estimadas dos lotes segundo o ACI-318 [2]

2.3 Modelo de estimativa da resistência à compressão do concreto segundo a norma européia NP-EN-206-1 [9]

O modelo europeu descrito na norma portuguesa (Ref. [9]) estabelece os critérios de controle de conformidade da produção de concreto. Esta norma determina como devem ser realizadas as amostragens, bem como os critérios para aceitação de estruturas de concreto. Para validação de determinado lote de concreto, esta apresenta dois diferentes critérios de aceitação das amostras. Uma estrutura cuja conformidade seja avaliada através da metodologia européia será considerada aprovada quando os dois critérios forem satisfeitos.

Os critérios de conformidade para a resistência à compressão do concreto segundo o modelo europeu são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – Critérios de conformidade para resistência à compressão (Ref. [9])

Produção	Número "n" de resultados de ensaios da resistência à compressão do grupo	Critério 1	Critério 2
		Média dos "n" resultados	Qualquer resultado individual de ensaio
Inicial	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Contínua	≥ 15	$\geq f_{ck}+1{,}48.\sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Segundo a Ref. [9]: “O resultado do ensaio deve ser obtido a partir de um provete (corpo de prova) individual ou da média dos resultados de ensaio de dois ou mais provetes fabricados de uma amostra e ensaiados com a mesma idade”.

Com o objetivo de comparar os modelos de estimativa de resistência dos modelos norte-americano e brasileiro com o código europeu, fez-se a avaliação dos lotes segundo o critério 1. A Figura 6 apresenta os valores estimados de resistência à compressão de cada um dos lotes analisados segundo este critério.

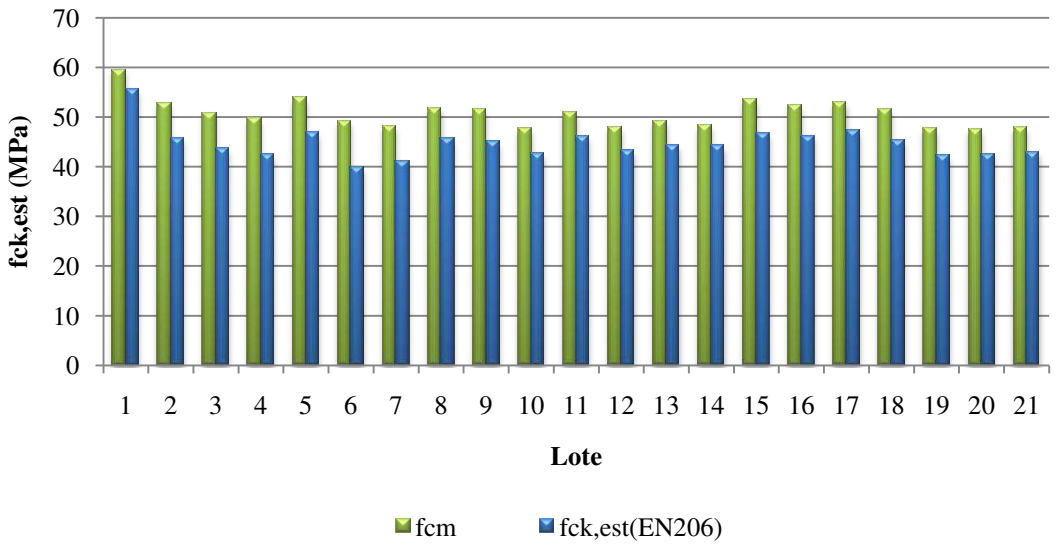


FIGURA 6 – Resistências médias e resistências estimadas pelo critério 1, segundo o EN-206-1 [9]

2.4 Relação entre as resistências estimadas pelas distintas normas para o concreto analisado

A Figura 7 resume de forma gráfica os valores de resistência estimada pelas diferentes normas para os lotes estudados. Pode-se perceber que a estimativa definida pelo modelo norte-americano apresenta os maiores valores de estimativa de resistência à compressão quando comparados os valores de cada um dos lotes. Os modelos, europeu e brasileiro, apresentaram estimativas muito próximas entre si, sendo que a estimativa européia estabelece valores um pouco superiores.

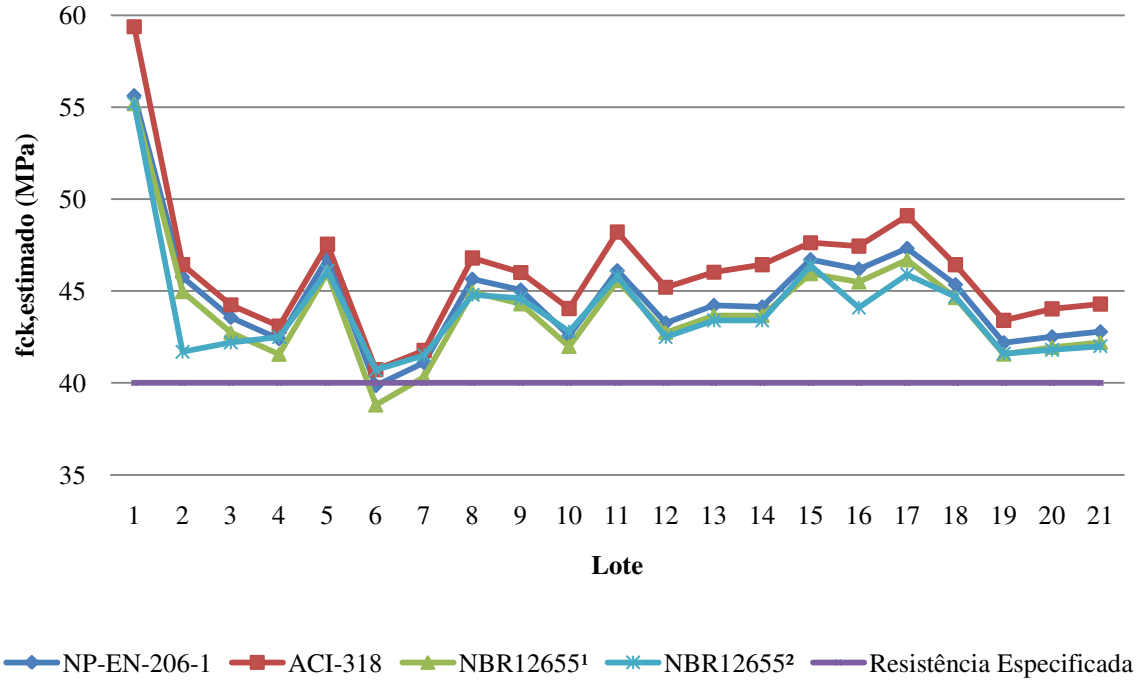


FIGURA 7 – Resistência estimada em cada lote segundo as distintas normas

3. CONCLUSÕES

A partir da análise de 16.215 rompimentos de corpos de prova à compressão do concreto aplicado na laje de fundo do dique seco, o presente trabalho determinou os parâmetros de aceitação da peça com base nas metodologias normatizados em diferentes regiões do mundo.

Foi realizada uma análise comparativa entre os dois controles do concreto apresentados pela norma brasileira NBR 12655 [6], denominadas no presente trabalho como $f_{ck,est}^{1}$ e $f_{ck,est}^{2}$ para amostragem parcial e total, respectivamente. Verificou-se que, embora a metodologia da Ref. [6] faça distinção em duas diferentes

situações de amostragem, os valores apresentados pelos estimadores são muito próximos; fato que torna praticamente indiferente a escolha de uma ou outra expressão quando se realiza análises de valores na prática. Esta consideração deve-se ao fato de que em apenas um dos lotes analisados a diferença entre as duas metodologias foi superior a 2,0 MPa. Além disso, a média das diferenças entre as estimativas dos lotes foi de apenas 0,1 MPa, ou seja, 0,25% do valor da resistência especificada do concreto analisado.

As metodologias apresentadas pelas normas brasileiras da ABNT foram analisadas e comparadas com os modelos norte-americano do ACI-COMMITTEE 318 [2] e europeu do NP-EN-206-1 [9]. Foi evidenciado o fato de que o modelo brasileiro apresenta estimativas de resistência característica inferiores aos demais para um mesmo lote analisado. Fato que, embora não possa ser conclusivo para classificar uma metodologia como mais rigorosa do que outra, pode refletir a qualidade do controle utilizado em cada uma das regiões, visto que estas tendem a serem reflexos da prática construtiva de determinado local. Evidenciou-se o fato de a norma norte-americana apresentar estimativas mais generosas para um mesmo lote analisado, quando comparado com as demais normas testadas. Foi este o modelo que estimou a maior resistência em todos os lotes analisados. Em média, o modelo norte-americano apresentou estimativas de resistência 1,40 MPa a mais quando comparado ao modelo europeu. Na comparação com a metodologia brasileira, a diferença média foi superior a 2,0 MPa. O modelo de previsão da ABNT apresentou valores de resistência estimada bem próximos aos da proposta européia.

As análises estatísticas realizadas mostraram que o concreto com adição de sílica ativa empregado na construção da laje de fundo do dique seco do estaleiro, com f_{ck} = 40 MPa, atendeu aos requisitos de resistência à compressão aos 28 dias segundo as duas metodologias internacionais. Nas duas metodologias de estimativas internacionais e quando utilizada a metodologia de análise por amostragem total da ABNT, todos os lotes definiram o concreto dos lotes como conforme. Se a metodologia por amostragem parcial fosse utilizada, o lote 6 seria definido como não-conforme; decorrência do elevado valor do desvio padrão deste período. A Ref. [10] apresentou um estudo semelhante, com parte dos dados analisados no presente trabalho e utilizando uma divisão em lotes mensais, no qual o lote do mês de fevereiro também apresentou valores inferiores ao especificado na

análise pela metodologia de amostragem parcial. Este fato é provocado pelo elevado desvio padrão deste período da concretagem, somado a uma pequena redução na resistência média do lote. No entanto, este fato de forma isolada, não compromete a qualidade da construção, visto que a amostragem adotada no controle tecnológico foi total e nenhum dos corpos de prova rompidos com idade de 28 dias apresentou valor de resistência inferior a 40,0 MPa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACI COMMITTEE 214. Evolution of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-02). American Concrete Institute, 2002.

2. ACI COMMITTEE 318. Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318-05). American Concrete Institute, 2005.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland Comum. NBR 5732. Rio de Janeiro, 1991.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2007.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência. NBR 8953. Rio de Janeiro, 1992.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. NBR 12655. Rio de Janeiro, 2006.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Especificação. NBR 13956. Rio de Janeiro, 1997.

8. CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F.; VALDUGA, L. Análise comparativa do desempenho de concretos com sílica ativa e metacaulim. In: 49º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Bento Gonçalves – RS, 2007.

9. EUROPEAN STANDARD. Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. EN-206-1. Bruxelas, 2007.

10. MAGALHÃES, F. C.; Estudo probabilístico da resistência à compressão e da resistência à tração na flexão dos concretos utilizados na construção do dique seco do Estaleiro Rio Grande, no superporto, em Rio Grande-RS. Universidade Federal do Rio Grande, FURG. Dissertação de Mestrado. Rio Grande, 2009.

11. MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, PINI, 1994.

12. NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. Tradução Salvador E. Giamamusso, 2ª ed. São Paulo, PINI, 1997.

13. SILVA, A. S. R. da; AZEVEDO, M. T. de; AZEVEDO, A. P. de. Estudo para avaliação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade pelo método mecânico e do ultra-som de concretos produzidos em Salvador - BA. In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., Salvador – BA, 2008.

14. SOUZA, J. de; PEREIRA, L. A.; BIANCHINI, M. Avaliação da influência de altas dosagens de aditivo polifuncional em concreto dosado em central. Estudo de Caso – Sul do Brasil. In: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, Anais..., RIO DE JANEIRO - RJ, 2006.