

## ASPECTOS do PROJETO e CONSTRUÇÃO da CHAMINÉ do LABORATÓRIO de GERAÇÃO NUCLEOELÉTRICA - LABGENE ON THE PROJECT AND CONSTRUCTION OF THE CHIMNEY OF THE NUCLEAR ELCTRICITY LAB (LABGENE)

AMARAL, Roberto<sup>(1)</sup>; PESCE, Júlio César Mendes<sup>(1)</sup>; BILESKY, Pedro<sup>(2)</sup>; SANTORO, Luciana<sup>(3)</sup>;  
SOUZA, Alexandra Moreira<sup>(3)</sup> HELENE, Paulo<sup>(4)</sup>;

(1) Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo;

(2) Mestre em Habitação, PhD Engenharia;

(3) IMPREJ Engenharia;

(4) Prof. Titular EPUSP. PhD Engenharia;

### Resumo

O Programa Nuclear da Marinha (PNM) constrói no Centro Experimental Aramar, localizado na cidade de Iperó, SP, o Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica, LABGENE. Este laboratório foi idealizado com a finalidade de avaliar sistemas de propulsão naval, a serem construídos em estaleiros nacionais e que prestarão serviços à Marinha auxiliando na defesa e segurança de nossas águas territoriais.

Os prédios do LABGENE possuem estruturas que foram idealizadas e projetadas, respeitando rígidos critérios nacionais e internacionais de segurança estrutural, visando à integridade destas frente a fenômenos naturais, à preservação do meio ambiente e de forma apropriada a garantir a segurança das populações circunvizinhas. Apresentam-se neste trabalho os aspectos do projeto e construção da chaminé deste laboratório, concebida de forma a permitir a exaustão segura dos gases gerados durante o processo de produção de energia. De forma a garantir sua estabilidade global e local devido às ações dos carregamentos a que a estrutura será submetida, os esforços dinâmicos foram observados através do comportamento aeroelástico da estrutura quando submetida aos esforços dinâmicos de vento, tornado de projeto EF3, e sismo com uma aceleração sísmica horizontal característica de  $A_g = 0,10g$ . Esta chaminé é uma estrutura esbelta de concreto armado cuja seção circular varia de 6,30 m na base e 2,30 m no topo, com uma altura total prevista de 84,70 m. Sua seção circular tem espessura constante de 0,40 m. A sua base é fixada a um grande bloco maciço cilíndrico de concreto armado, com 11 m de diâmetro e 2,50 m de altura, assente e ancorado em rocha. O concreto estrutural tem sua relação água/cimento máxima fixada em 0,50 para uma resistência característica à compressão  $f_{ck} = 30$  MPa, e, módulo de elasticidade estático,  $E_{ci} 0,3 f_c \geq 25$  GPa ; o concreto magro utilizado para regularização do topo rochoso no bloco de fundação  $f_{ck} = 20$  MPa. São apresentados também os resultados dos estudos de dosagem realizados para definição dos concretos a serem utilizados na sua construção, tanto os produzidos em empresa de serviços de concretagem, quanto para aqueles concretos a serem produzidos no canteiro.

*Palavra-Chave: Construção da chaminé; formas deslizantes; sistemas construtivos específicos; concreto.*

### Abstract

The Navy's Nuclear Program (PNM) comprises the construction of the Nuclear Electricity Lab (LABGENE) in the Aramar Experimental Center (Iperó, SP - Brazil). Such a lab aim to evaluate propulsion systems built in the country to military use. The design of the structure in the LABGENE buildings followed national and international design standards to ensure structural safety and taking into account seismic and wind loads. As so, the project wishes to ensure environmental safety for the surroundings. This paper presents key features of the lab's chimney, conceived to ensure suitable exhaustion of the gases produced in the energy generation process. To guarantee local and global stability, the design team took into account dynamic loads due to the structure's aero elastic behavior (EF3 Tornado and  $a=0,10g$  horizontal seismic acceleration). A slender structure, the chimney is 6.30 meters wide in the base (2.30 in the top), 84.70 meters long, but only 40 centimeters thin. It seats in in massive cylindrical foundation that is 11.00 meters wide and 2.50 meters



Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto  
CBC2017  
Outubro-Novembro / 2017



@ 2017 - IBRACON - ISSN 2175-8182

wide which transfer the loads to the rocks underneath. The structural concrete has maximum water to cement ration of 0.50, a 30 MPa compressive strength and a static young's module  $E_{ci} = 0.3 f_c > 25$  GPa. Nevertheless, prior to the execution of the foundation, a first layer of 20 MPa concrete was used to flat the surface. We also present the studies to formulate the concrete mix.

*Keywords: construction of the chimney; sliding shapes; specific construction systems; concrete.*

## 1 Introdução

O Programa Nuclear da Marinha do Brasil prevê o desenvolvimento de capacitação tecnológica nacional para produção de combustível nuclear e para o projeto, construção, comissionamento, operação e manutenção de reatores núcleo-elétricos tipo PWR - reatores refrigerados a água, para aplicação em propulsão naval, tendo iniciado em 1979, ainda nas dependências do CTA - Centro Tecnológico Aeroespacial, pelo então Capitão de Fragata (EN) Othon Luiz Pinheiro da Silva. O Programa Nuclear da Marinha possui três grandes projetos: o Projeto do Ciclo do Combustível, Projeto do Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE) e Projeto de Infraestrutura.

O Projeto do Ciclo do Combustível tem como objetivo principal a produção de elementos combustíveis necessários à operação de um reator nuclear. Em síntese, na sua versão atual, o combustível nuclear considera pastilhas de dióxido de urânio. O processo consiste na dissolução do concentrado de urânio (yellow cake) em ácido nítrico e sua posterior purificação. Após uma série de reações químicas é obtido o Hexafluoreto de Urânio (UF<sub>6</sub>) que, por estar na fase gasosa, possibilita o enriquecimento isotópico do urânio na próxima etapa do ciclo do combustível. A técnica de obtenção laboratorial do UF<sub>6</sub>, já foi desenvolvida no Brasil. Cabe salientar que somente cerca de 10 (dez) países no mundo dominam a técnica de enriquecimento de urânio e a nossa é considerada uma das mais desenvolvidas.

O projeto do LABGENE busca o desenvolvimento, projeto e construção no País de um reator nuclear a ser empregado na propulsão naval. Pela natureza dual do projeto, a energia elétrica produzida pelo LABGENE, com as adaptações apropriadas, pode ser usada para iluminar uma cidade de 20.000 habitantes, além de capacitar o Brasil para projetar e construir centrais nucleares de pequena e média potência, que atendam às necessidades da matriz energética brasileira.

Em 1982, foi firmado um convênio com o IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, localizado na Cidade Universitária "Armando Sales de Oliveira" (USP) quando continuaram as pesquisas para o desenvolvimento do ciclo do combustível e em 1984 iniciou-se a construção, na área do IPEN - USP, de um reator nacional de pesquisa denominado inicialmente por Unidade Crítica - Reator de Potência Zero (100 watts). Esse reator, que foi construído com o gerenciamento da Marinha do Brasil e apoio do IPEN, entrou em operação em 28/10/1988 já com o nome REATOR NUCLEAR IPEN / MB-01 e, em 2004, foi incluído como referência internacional, sendo o único reator nuclear de pesquisa do hemisfério sul com essa qualificação.

Ainda em 1984 foi firmado um novo convênio, agora com o CENEA - Centro Nacional de Engenharia Agrícola, hoje ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Floresta Nacional de Ipanema - Fazenda Ipanema, município de Iperó, SP, com cessão de terreno pertencente ao Ministério da Agricultura para o então Ministério da Marinha.

As seguintes premissas foram fundamentais para a escolha da área pela Marinha do Brasil: Raio de 100 km a partir da USP - a Fazenda Ipanema se enquadra nessa exigência,

- Disponibilidade de água - na Fazenda Ipanema temos a Barragem Dr. Hedberg que represou o rio Ipanema (primeiro rio brasileiro a ser represado), por volta de 1810;
- Disponibilidade de energia elétrica - na área do sítio tem a passagem de rede de 13,8 kV;
- Cidade de apoio próxima - Sorocaba localiza-se a aproximadamente 20 km e Iperó a aproximadamente 15 km;
- Disponibilidade de vias de tráfego - Rodovias próximas: Castello Branco (menos de 10 km) e Rodovia Raposo Tavares (menos de 20 km); Ferrovia passa lindeira ao sítio e Aéreo: pista de pouso que era dedicada ao extinto CAVAG - Curso de Aviação Agrícola a menos de 5 km e o aeroporto de Sorocaba a menos de 15 km;
- Região de sismologia estável - pelas pesquisas nunca ocorreu um sismo na região;
- Solo com rocha disponível - também foi feita no local uma prospecção de 100 metros de profundidade, além de outras em profundidades variadas (de 3,00 até 12,00 metros) e todas apresentaram rocha estável em toda sua extensão sendo estes resultados considerados satisfatórios e adequados para as instalações.

Apesar de o local apresentar todas as características favoráveis à implantação das unidades previstas, para a conclusão do projeto, foram realizadas investigações adicionais quanto a eventuais ocorrências de sismos e tornados na região, dentro do processo de licenciamento nuclear.

De acordo com o relatório "Determinação do Nível de Vibrações Sísmicas do Terreno, Provocadas pelo Sismo Básico de Projeto no Centro Experimental ARAMAR", os valores de acelerações horizontais máximas, na rocha aflorante, considerados no projeto são iguais a 0,1 g para SDS (Sismo de Desligamento Seguro) e 0,05 g para SBO (Sismo Básico de Operação).

Por sua vez, o relatório de autoria da Dra. Maria Assunção Faus da Silva Dias, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Departamento de Ciências Atmosféricas - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG; Universidade de São Paulo – USP, de agosto de 2008, indicou que tornados classe F3/EF3 são possíveis de ocorrer na região de Iperó, SP. Dentre os tornados observados e registrados no Brasil, 4% são da categoria F3/EF3, sendo que o cenário futuro aponta um aumento na probabilidade de ocorrência desse mesmo tornado. A faixa de velocidades associadas a tornados F3, já corrigidos para a classificação EF3, é de 218 a 264 km/h (ou 60 a 73 m/s).

De posse destas importantes informações, os prédios com requisitos de segurança foram projetados, respeitando rígidos critérios nacionais e internacionais de segurança estrutural, visando à integridade destas frente a estes desastres naturais, à preservação do meio ambiente e de forma apropriada a garantir a segurança dos seus operadores e das populações circunvizinhas. Deve-se lembrar aqui que, para execução de obras de cunho nuclear existe ainda a obrigação de seguir exigências da CNEN 1:16 que trata de "Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações".

Essa norma determina:

- Os requisitos a serem adotados no estabelecimento e na implementação do Sistema de Garantia da Qualidade, para construção de usinas nucleoeletricas, instalações nucleares e, conforme aplicável, também para instalações radiativas.
- A forma segundo a qual os Programas de Garantia da Qualidade, devem ser preparados e submetidos à Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN.

Muito embora a construção desta chaminé de exaustão não obedeça aos mesmos critérios de segurança de Classe Sísmica I, exigidos na construção dos demais edifícios integrantes do laboratório, o CTMSP determinou que sua construção atende-se a estes mesmos parâmetros de qualidade e, a PhD Engenharia, embasada em um estudo detalhado do seu projeto, fundamentada em sua especificação, *Relatório Técnico PhD 199/2012 - Especificação Técnica para Execução das estruturas de Concreto dos Prédios Classe Nuclear do LABGENE*, documento do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, nº R 11.00-1400-EC-0003, Revisão 2, estabelecendo assim procedimentos a serem adotados na produção, transporte, lançamento, adensamento e cura dos concretos a serem ali aplicados e em seu controle tecnológico.

Realizou-se também um programa de estudo de dosagens de concreto, nos laboratórios da empresa de serviços de concretagem escolhida e na Faculdade de Engenharia de Sorocaba, FACENS, conforme indicação da fiscalização do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo e da Construtora IMPREJ Engenharia, responsável pela sua construção, com o objetivo de avaliar e definir traços de concreto a serem utilizados, com características físicas adequadas à forma do elemento estrutural, sua densidade de armadura e seu método construtivo, forma deslizante com barrão interno.

Esta chaminé é uma estrutura esbelta de concreto armado cuja seção circular varia de 6,30 metros na base e 2,30 metros, no topo, com uma altura total prevista de 84,70 metros. Sua seção circular tem espessura constante de 0,40 metros. A sua base é fixada a um grande bloco maciço cilíndrico de concreto armado, com 11,00 metros de diâmetro e 2,50 metros de altura, assente e ancorado em rocha.

## 2 Especificações de projeto

Foram definidos e apresentados, no documento do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, nº R 11.06-1800-EC-0400, Revisão 0, os critérios utilizados no desenvolvimento dos projetos de engenharia civil estrutural, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 e a especificação dos materiais a serem utilizados na sua construção. Para o projeto estrutural são considerados como carregamentos básicos as cargas de operação e as cargas excepcionais. As cargas de operação consideradas são as cargas permanentes, o peso próprio da estrutura, o peso próprio dos equipamentos e ainda algumas cargas variáveis tais como aquelas promovidas pela variação de temperatura mesmo sabendo-se que os gases no interior da Chaminé serão provenientes da exaustão interna dos prédios (PR – Prédio do Reator, PC – Prédio de Combustível, PAC – Prédio Auxiliar Controlado e PANC – Prédio Auxiliar não Controlado).

Considerando que a temperatura interna dos prédios estará próxima à temperatura ambiente (diferença em torno de 5 a 7 graus) não há diferença de temperatura

significativa entre a temperatura dos gases dentro da Chaminé e a temperatura externa, não sendo este gradiente térmico significativo para o dimensionamento. Ainda como carga variável será avaliada a ocorrência de ventos na região da estrutura considerando os critérios descritos no Item 4.2.1 do ACI 307:2008.

As cargas excepcionais previstas e consideradas são aquelas que eventualmente possam ocorrer, tais como efeitos de sismos com aceleração sísmica horizontal 0,10g nas vizinhanças da instalação. Apesar da Chaminé de Exaustão não estar classificada nessa categoria considera-se que um possível colapso desta sobre os prédios classificados como Categoria Sísmica I é um evento que deve ser considerado.

Para o cálculo dos esforços na Chaminé de Exaustão devido ao sismo foi realizada uma análise elástica modal utilizando o espectro de resposta de projeto da NBR 15421:2006 “Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimentos”.

Outras cargas excepcionais consideradas no projeto são cargas oriundas de possíveis tornados, factíveis na região, tornado mais míssil, que são esforços provenientes de impactos causados por objetos arremessados contra estrutura e, explosão de TNT de acordo com os princípios exposto no manual do departamento de defesa americano, *U.S. Department of Defense – Technical Manual UFC 3-340:2002* e no manual da ASCE, *American Society of Civil Engineers. Design of Blast Resistant Buildings in Petrochemical Facilities, ASCE*

*Design of Blast Resistant Buildings in Petrochemical Facilities, ASCE*

Quanto ao aço utilizado na sua construção, segundo a norma ACI-307:2008, no item 4.3, o efeito de cargas sísmicas não deve ser considerado no caso de construções de chaminés, ficando o projeto dispensado do detalhamento especial de armadura, obedecendo aos requisitos do Capítulo 21 do ACI-318:2014, mas, em contrapartida, mantém as exigências em relação à ductilidade do aço que são as que estão descritas no item 21.2.5 do ACI-349:2006, e, estão listadas abaixo:

O valor da tensão de escoamento do aço ensaiada não deve exceder em mais de 124MPa (18.000 psi). Testes adicionais não devem exceder este valor em mais que um adicional de 20,7MPa (3.000psi), e a razão da resistência real à tração e a tensão de escoamento não deve ser menor que 1,25.

Por sua vez, os concretos a serem utilizados na sua construção deverão atender as seguintes especificações e ter as seguintes características físicas e mecânicas conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1.** Parâmetros de dosagem – Concreto do Bloco de Fundação.

Parâmetros de dosagem	
Classe – ABNT NBR 12655:2015	II
Consumo de cimento por m <sup>3</sup>	Mínimo 300kg
Relação água/cimento	< 0,60
Abatimento – ABNT NBR 67:1998	100 a 150mm
Resistência à compressão, $f_{ck,est\ 28}$ – ABNT NBR 12655:2015	30MPa
Módulo de elasticidade, $E_{ci}$ 0,30 $f_c$ – ABNT NBR 8522:2008	25GPa

**Tabela 2.** Parâmetros de dosagem – Concreto do corpo da chaminé.

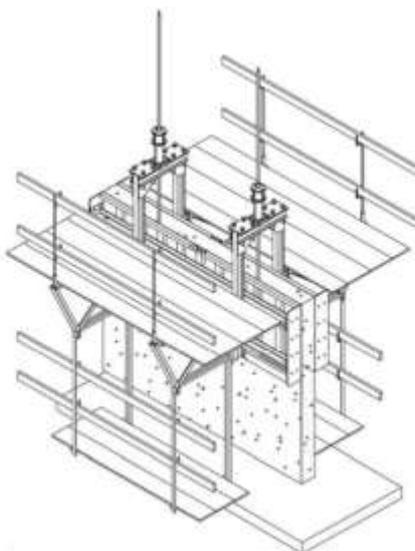
Parâmetros de dosagem	
Classe – ABNT NBR 12655:2015	III
Consumo de cimento por m <sup>3</sup>	Mínimo 350kg
Relação água/cimento	< 0,50
Abatimento – ABNT NBR 67:1998	60 a 100mm
Resistência à compressão, $f_{ck,est\ 28}$ – ABNT NBR 12655:2015	30MPa
Módulo de elasticidade, $E_{ci\ 0,30\ f_c}$ – ABNT NBR 8522:2008	25GPa

Foi utilizado também um concreto magro na regularização executada no topo rochoso para o assentamento e fixação do bloco de fundação.

### 3 Método construtivo

Em atenção ao cronograma da obra, adotou-se para construção desta chaminé o método conhecido como forma deslizante com barrão interno. A empresa fornecedora das formas e equipamentos que compõe o sistema será a Terra Máquinas Equipamentos e Construções Ltda, Temec, empresa brasileira especializada e com experiência internacional.

Este sistema, amplamente recomendado para obras de altura elevada, onde as armaduras são montadas concomitantemente às concretagens, é composto por formas baixas, de não mais que 1,20m, que são içadas por um macaco hidráulico que se arrasta por um varão de aço posicionado no interior do concreto. Este barrão fica protegido por uma camisa também de aço que acompanha a subida do sistema de formas. A velocidade de concretagem é de aproximadamente 0,25 m/h e este ciclo se repete a cada 3 h aproximadamente dependendo do tempo de pega do concreto.



**Figura 1** – Sistema de formas deslizantes com varão (<http://temec.com.br/site/pdf/DESLIZANTE.pdf>)

## 4 Estudos de dosagem

A realização destes estudos dosagem de concreto teve como objetivo principal atender aos parâmetros estabelecidos na especificação do projeto como descrito.

Apresentam-se na Tabela 3, as características dos traços estudados e considerados definitivos, traço para o bloco de fundação produzido por empresa de serviço de concretagem e, traço para o corpo da chaminé, a ser produzido na obra.

**Tabela 3.** Traços unitários adotados.

Materiais utilizados	Bloco de fundação	Corpo da chaminé
Cimento (CP II E 40)	1,00	1,00
areia de quartzo	1,76	2,16
areia artificial de basalto	1,44	-
agregado graúdo de basalto	3,47	3,35
água	0,60	0,50
aditivo polifuncional (% spc)	0,90	0,90
Abatimento (mm)	115	85
fator água/materiais secos (%)	7,87	7,70
teor de argamassa seca (%)	55	48
consumo cimento / m <sup>3</sup>	305	361
consumo água / m <sup>3</sup>	183	180
relação a/c (kg/kg)	0,60	0,50
massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2.525	2.533

Para este caso, nas resistências médias dos estudos de dosagem obtidas, foram considerados e acrescentados à expectativa do  $f_{ck,est\ 28}$  de projeto, um desvio padrão de 4,0 MPa, conforme proposto pela normalização, Condição A, aplicável para todas as classes de concreto que tem as suas quantidades, durante sua produção, de cimento e agregados medidas em massa e, a proporção de água medida em massa ou volume, corrigida em função da umidade contida principalmente nos agregados miúdos, conforme sugerido na Tabela 6 do Item 5.6.3.1, “Condições de preparo do concreto” da ABNT NBR 12655:2015.

**Tabela 4.** Resultados obtidos aos 28 dias de idade nos estudos de dosagem.

Propriedade	Aplicação	
	Bloco de fundação	Corpo da chaminé
Resistência à compressão, $f_{cm\ 28}$ – ABNT NBR 5739:2016	37,8MPa	40,3MPa
Módulo de elasticidade, $E_{ci}\ 0,30 f_c$ – ABNT NBR 8522:2008	35,5GPa	41,1GPa

Os traços de concreto a serem utilizados na construção desta chaminé serão revistos na época da construção da chaminé e poderão sofrer alterações de acordo com as necessidades de aplicação e possíveis variações nas propriedades físicas e mecânicas dos materiais a serem utilizados. Na Tabela 4 são apresentados os resultados, ora obtidos, dos ensaios mecânicos realizados aos 28 dias de idade.

## 5 Controle tecnológico

O documento técnico nacional que melhor se aplica a este caso é a norma técnica brasileira ABNT NBR 6118:2014. Outros documentos normativos nacionais e internacionais também se aplicam, considerados como subordinados ou complementares *desta* norma.

Todo concreto entregue ou produzido no próprio canteiro de obra deve ser submetido ao controle de recebimento da consistência e da resistência do concreto endurecido de acordo com o procedimento especificado na ABNT NBR 12655:2015 sendo recomendável proceder ao controle total (100%), com correspondente mapeamento dos locais que receberam cada concreto de um mesmo caminhão betoneira (conceito de rastreabilidade). Este controle deve seguir também as prerrogativas do Programa de Garantia da Qualidade do Labgene, PGQ-R11.99-01:2000, que é embasado no documento CNEN-NN-1.16:2000 - Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações

Esse controle deve ser realizado pela Construtora/Laboratório de Ensaios, através dos ensaios de consistência do concreto fresco de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998.

Entenda-se que para o controle de produção é importante aferir também a massa específica, do rendimento e o ar aprisionado pelo método gravimétrico, ABNT NBR 9833:2009.

A moldagem de corpos de prova deve ser feita em conformidade com o método de moldagem ABNT NBR 5738:2015, e estes devem ser sazoados de acordo com a ABNT NBR 9479:2006, e ensaiados nas idades especificadas, segundo a ABNT NBR 5739:2007, preferencialmente ensaiados em laboratórios acreditados pelo INMETRO e pertencentes à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios.

O módulo de elasticidade tangente inicial  $E_{ci}$ , deverá ser controlado em conformidade com a ABNT NBR 8522:2008.

Especificamente para a caracterização do concreto aplicado na construção desta chaminé, foi adotado o controle por amostragem total (100%) de acordo com o Item 6.2.3.1 da ABNT NBR 12655:2015 para o concreto da fundação a ser fornecido por empresa de serviços de concretagem e, para o concreto produzido no canteiro para o corpo da chaminé o controle por amostragem parcial a ser realizado de acordo com o Item 6.2.3.2 da referida norma respeitando as quantidades de exemplares recomendadas na Tabela 5 abaixo. Para o controle do módulo de elasticidade serão moldados corpos de prova, de betonada aleatória dos lotes ímpares.

Lembre-se aqui que para definição deste plano de amostragem foi considerado o volume de 421m<sup>3</sup> divididos em 1.523 betonadas de aproximados 277 l cada.

**Tabela 5.** Divisão de lotes e quantidade de exemplares mínimos para caracterização da resistência à compressão, de acordo com a ABNT NBR 12655:2015.

Lote	Cota de início (m)	Volume total(m <sup>3</sup> )	Número de betonadas	Total de exemplares por lote
1	546,85	44,01	159	15
2	552,85	41,83	150	15
3	558,85	39,66	144	13
4	564,85	37,50	135	12
5	570,85	35,29	127	12
6	576,85	33,12	120	12
7	582,85	30,96	111	11
8	588,85	28,76	105	9
9	594,85	26,58	96	9
10	600,85	24,42	89	9
11	606,85	22,23	81	9
12	612,85	20,04	72	7
13	618,85	17,88	66	6
14	624,85	18,58	68	7

## 6 Conclusões

A realização de estudos de dosagem prévios e a posterior verificação dos traços feita através de experimentos na linha de produção, em verdadeira grandeza, seja ela no caminhão betoneira ou em equipamento estacionário, facilitam de forma fundamental a execução dessa complexa e importante obra, evitando surpresas e ajustes de última hora. Além desses criteriosos estudos de dosagem sempre é conveniente considerar que durante a construção da torre de concreto, deve ser implantado um rigoroso controle tecnológico, padrão da Marinha, para obras especiais como esta, observando todas as prescrições da normalização vigente no programa interno da CNEN 1:16, quanto as prescritas pela ABNT NBR 14931:2004, para que o sucesso do trabalho não seja comprometido, principalmente pelos riscos de aparecimento de fissuras de retração térmica ou de secagem por ausência de cura ou procedimentos inadequados.

## 7 Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - **ACI-307-08** - *Code Requirements for Reinforced Concrete Chimneys and Commentary*. Michigan: ACI 2006. 30p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - **ACI-349-13** - *Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures*. Michigan: ACI 2013. 200p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - **ACI-318-14** - *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Michigan: ACI 2014. 519p.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - **ASCE 7** - *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston 2005. 424 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833**: Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14931**: Execução de obras de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 53 p.