

MARINHA DO BRASIL. LABGENE: EES. ELEMENTO ESTRUTURAL DE SACRIFÍCIO, OBJETIVOS, CONSTRUÇÃO E USO.

BRAZILIAN NAVY. LABGENE: STRUCTURAL SACRIFACIAL ELEMENT, OBJECTIVES, CONSTRUCTION AND USE.

BILESKEY, Pedro⁽¹⁾; AMARAL, Roberto⁽²⁾; MARCZYNSKI, Roberto⁽²⁾; MASTROMAURO, Waldemar⁽²⁾; DEL SANTORO, Luciana⁽³⁾; HELENE, Paulo⁽⁴⁾

(1) *PhD Engenharia;*

(2) *Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo*

(3) *Contracta Engenharia*

(4) *Professor Titular da EPUSP. PhD Engenharia;*

Rua Visconde de Ouro Preto, 201. Consolação. São Paulo/SP. CEP 01303-060

Resumo

Com a finalidade de avaliar as propriedades auto adensáveis de um concreto, a ser utilizado nas estruturas dos prédios do Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica – LABGENE, em construção no Centro Experimental Aramar, CEA, Iperó, São Paulo, da Marinha do Brasil, e verificar assim sua perfeita adequação à realidade das etapas de produção, transporte e aplicação impostas pela estratégia de fornecimento e projeto estrutural, promoveu-se um estudo experimental envolvendo todas as etapas do processo técnico atinente a esse concreto estrutural.

Este estudo consistiu na preparação de um caminhão betoneira, com 6m³ de concreto, numa Central de concreto localizada em Porto Feliz/SP, para acompanhamento das propriedades físicas do material, desde o início do carregamento na unidade de produção até a sua chegada e aplicação no canteiro de obras, distante 23 km do ponto de produção.

Entenda-se aqui por “Elemento Estrutural de Sacrifício”, estrutura de concreto, armada, projetada de forma conveniente ao ambiente onde será instalada, podendo ter qualquer forma geométrica que se integre ao projeto arquitetônico do LABGENE, sem prejuízos estéticos ou operacionais e onde, a princípio, possa ser avaliado o desempenho do concreto estudado quanto as suas propriedades auto adensáveis e que propicie, ao longo do tempo, a execução de ensaios físicos, a serem realizados no local e também permita extrações de testemunhos, com forma e dimensões apropriadas para ensaios mecânicos.

Ao longo dos anos, informações coletadas em corpos de prova moldados com o mesmo concreto e sazoados nas condições especificadas em norma serão então confrontadas com as informações fornecidas por este “Elemento Estrutural de Sacrifício” (EES), de onde serão “extraídos” periodicamente testemunhos, que fornecerão importantes informações relativas a real condição do concreto deste elemento estrutural. A avaliação destes resultados gerarão subsídios para verificação, em tempo real, das condições do concreto aplicado nas estruturas do LABGENE. Aproveitou-se também a oportunidade para se estudar neste “EES” a elevação das temperaturas internas do concreto até três dias de idade com a finalidade de se conhecer esta evolução quando aplicado em elementos estruturais mais robustos. Este conhecimento técnico auxilia na tomada de decisões a serem adotadas no sentido de se evitar que o concreto apresente fissurações oriundas das tensões de tração, desencadeadas pela retração térmica do concreto. Estas decisões configuram-se desde simples mudanças e adequação dos planos de concretagens até a uma revisão no projeto estrutural dos prédios, onde se recomendem armaduras próprias, calculadas em função dos picos de tensão determinados por estes estudos, para contenção destes fenômenos. Apresentam-se neste trabalho os resultados dos estudos desenvolvidos para este fim e detalhes da construção do “EES” no LABGENE.

Palavra-Chave: Protótipo, Elemento estrutural de sacrifício, Vida útil, Estudo térmico, Avaliação de desempenho.



Abstract

Willing to evaluate the behavior of a fresh self-compacting concrete, to be used in the buildings of the Nuclear Electric Energy Generation Laboratory (LABGENE), under construction at the Brazilian Navy's Aramar Experimental Center's Campus (CEA), at Iperó (São Paulo), and to verify his suitability to the reality of the production, transportation and application process defined by the structural design and the whole supply-chain strategy, a full-scale study was designed.

In order to carry out, 6 m³ of concrete were made in the Porto Feliz/SP concrete factory, where the main physical - properties of the material were tested, and then shipped within a concrete mixer truck to the construction site, 23 km off the plant. The term "Structural Sacrifice Element" (SSE) must be understood, in this paper, as a reinforced concrete structure designed in a certain shape, considering the LABGENE's architectural design, where the concrete's self-compacting performance can be studied and where, as time goes by, physical tests will be made as well as specimens may be taken with suitable shapes and sizes for mechanical testing. Once the SSE is exposed to the same environment of the LABGENE buildings, some testing specimens will provide an accurate information about the status of the structure, which will, then, be compared against the results of specimens of the same concrete conserved in a standardized environment. Checking these results one will generate background information to verify, in real-time, the conditions of the concrete used in the LABGENE building structures. Given the necessity to produce the SSE, a secondary study was made in the element by monitoring the internal temperature of the concrete until the material reach the age of 3 days. This study was designed to understand the changes in the temperature of this concrete when applied in large structural elements. This knowledge will supports the decisions to be made in order to avoid cracking caused by tension loads related to thermal contraction of the concrete. These decisions may be as simple as changing the application process or as complex as changing the structural design itself, like proposing a new reinforcement system designed to neutralize the effects of the tension forces. This paper presents the results of the studies developed and details of the LABGENE's SSE.

Keywords: Prototype, Structural Sacrifice Element, Thermic studies, Life cycle, Performance evaluation.



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.

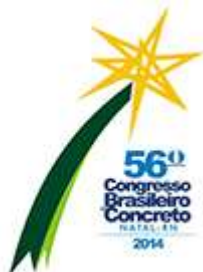
O Projeto do Ciclo do Combustível tem como objetivo principal a produção de elementos combustíveis necessários a operação de um reator nuclear. Em síntese, na sua versão atual, o combustível nuclear considera pastilhas de dióxido de urânio. O processo consiste na dissolução do concentrado de urânio (yellow cake) em ácido nítrico e sua posterior purificação. Após uma série de reações químicas é obtido o Hexafluoreto de Urânio (UF₆) 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 UF₆, 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,



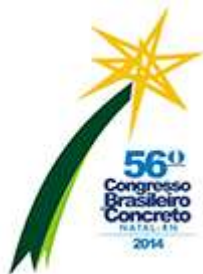
- Disponibilidade de água - na Fazenda Ipanema temos a Barragem Dr. Hedberg que represou o rio Ipanema (primeiro rio brasileiro a ser represado), por volta de 1810;
- Disponibilidade de energia elétrica - na área do sítio tem a passagem de rede de 13,8 kV;
- Cidade de apoio próxima - Sorocaba localiza-se 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; e
- 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 ainda lembrar que, para execução de obras de cunho nuclear, além da ABNT NBR 14931, existe ainda a obrigação de seguir exigências da CNEN 1:16 que trata de garantia da qualidade para a segurança de obras Nucleares



Essa norma determina:

- Os requisitos a serem adotados no estabelecimento e na implementação do Sistema de Garantia da Qualidade, para construção de usinas nucleoeletrônicas, 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.

Para o atendimento destas exigências, a PhD Engenharia, embasada em um estudo detalhado deste projeto, desenvolveu e fundamentou uma especificação para execução das estruturas do LABGENE, estabelecendo também procedimentos para produção, transporte, lançamento, adensamento e cura destes concretos. Foram realizados estudos de avaliação das matérias primas disponíveis na região de interesse para produção do concreto.

Foi realizado também um extenso programa de estudo de dosagens de concreto, nos laboratórios da empresa de serviços de concretagem indicada pela fiscalização do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, com o objetivo de avaliar e definir traços de concreto a serem utilizados, com características físicas adequadas à forma dos elementos estruturais e a sua densidade de armadura.

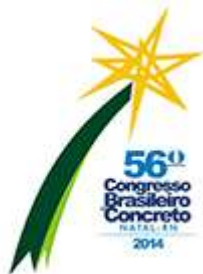
Foram realizados estudos de produção de concreto em escala industrial, dosagem de caminhões protótipos experimentais, onde se avaliaram o desempenho efetivo dos concretos estudados nas reais condições de fornecimento.

Estudos térmicos para verificação da elevação da temperatura adiabática do concreto naqueles elementos estruturais que, no projeto estrutural, apresentavam volumes expressivos. Os resultados destes estudos, ora apresentados, auxiliaram os envolvidos no empreendimento na tomada de decisões quanto aos seus procedimentos construtivos, na definição de juntas de concretagem programadas e no resfriamento do concreto, providências estas importantes principalmente para evitar o aparecimento de fissuras de origem térmica neste importante elemento estrutural.

Aproveitando-se a oportunidade, apresentada por esta necessidade, e o concreto produzido para estes estudos de avaliação da produção em escala industrial, pensou-se em construir, no LABGENE, um “EES”, Elemento Estrutural de Sacrifício.

Entenda-se aqui por “Elemento Estrutural de Sacrifício”, estrutura de concreto, armada, projetada de forma conveniente ao ambiente onde será instalada, podendo ter qualquer forma geométrica ou arquitetônica que se integre ao projeto do LABGENE, sem prejuízos estéticos ou operacionais, onde, a princípio, possa ser analisado o desempenho do concreto quanto as suas propriedades auto-adensáveis e que propicie, ao longo do tempo, a execução de ensaios físicos, a serem definidos no local e também permita extrações de testemunhos com forma e dimensões apropriadas ensaios mecânicos.

Ao longo dos anos, informações coletadas em corpos de prova moldados, com o mesmo concreto, e sazoados nas condições especificadas em norma serão então confrontadas com as informações fornecidas por este “Elemento Estrutural de Sacrifício” de onde serão “extraídos” periodicamente estes testemunhos, que fornecerão as informações relativas a real condição do concreto deste elemento. A avaliação destes resultados gerarão



subsídios para avaliação em tempo real da condição do concreto das estruturas do LABGENE e na projeção e avaliação da vida útil destas estruturas de concreto.

2 Especificação do concreto

Algumas das estruturas de concreto do Labgene, blocos de fundação e paredes, por suas dimensões, possuem características de concreto-massa. O Comitê do ACI 116 define como concreto-massa, o concreto de uma estrutura de grande volume, onde este volume seja de tal grandeza que requeira meios e cuidados especiais para combater a geração interna de calor e mudança volumétrica. Ao ser comparado ao concreto dito como “convencional”, possui ainda uma peculiaridade em destaque que é a dificuldade de liberar o calor gerado pelas reações químicas exotérmicas de hidratação.

A hidratação do cimento Portland é uma reação exotérmica, ou seja, libera calor no interior da massa de concreto após sua pega. A liberação desse calor para o meio externo é influenciada pelas características térmicas dos materiais empregados, pelas condições ambientais e pelas dimensões do elemento estrutural.

O concreto, através de seu coeficiente de dilatação térmica, sofre variações dimensionais expansivas quando exposto a ação da temperatura decorrente dessa reação química exotérmica de hidratação. Como ainda não está totalmente solidificado, expande quase livre e rapidamente, pois as reações exotérmicas principais, na maioria das vezes, ocorrem nas primeiras idades até 72h após concretagem.

Ao resfriar-se novamente à temperatura ambiente, o que pode ocorrer durante semanas ou meses, fica sujeito a uma retração ou contração térmica. Também devido às dimensões da estrutura pode haver gradientes térmicos importantes entre o núcleo da peça estrutural e sua área superficial exposta e de resfriamento mais rápido.

Esta retração térmica, por conta dos gradientes desenvolvidos e pelas restrições naturais de atrito e engastamentos, induz o aparecimento de tensões que podem superar as tensões resistentes de tração do concreto, provocando a indesejada fissuração da estrutura.

Em função também de se tratar de uma estrutura de Classe Sísmica I (NUREG, 2007), pela alta taxa de armadura prevista para estas estruturas, aproximadamente 230kg/m³, optou-se por se adotar um concreto com características auto-adensáveis, para facilitar o preenchimento e a acomodação do concreto nas formas dispensando assim a inviável utilização de vibradores de imersão, conforme mostrado na Foto 1, e, com o menor consumo possível de cimento, para reduzir o calor de hidratação.

Considerando estas premissas, o traço do concreto a ser empregado na construção destas estruturas desenvolvido a partir de estudos de dosagem experimental, buscando atender os requisitos mínimos de resistência, durabilidade, deformabilidade e aplicabilidade ora apresentados.



Foto 1. Aspectos da armadura do bloco de fundação

Na Tabela 1, definem-se os parâmetros a serem adotados no estudo de dosagem.

Tabela 1. Parâmetros de dosagem

Traço do concreto	$f_{ck} = 50\text{MPa}$
Consumo de cimento por m^3	de 350kg a 400kg
Adição pozolânica por m^3	de 5% a 8% do peso do cimento
Relação água/aglomerante	< 0,44
Água total por m^3	< 176L
Teor de argamassa	de 58% a 68%
Areia natural + artificial	a soma das areias deve ser de 750kg a 1050kg
Brita 0, granítica	a soma das britas deve ser de 650kg a 900kg
Brita 1 granítica	a soma das britas deve ser de 650kg a 900kg
Aditivo plastificante	De acordo com a especificação do fabricante
Aditivo superplastificante	De acordo com a especificação do fabricante

3 Estudos de dosagem

A realização deste estudo de dosagem de concreto, que teve como objetivo principal atender aos parâmetros estabelecidos na especificação, se procurou também analisar, de modo abrangente, as variáveis de produção possíveis apresentadas pela empresa de serviços de concretagem, para que esta possa utilizar, na produção do concreto a ser fornecido para construção das estruturas do LABGENE, todos os recursos materiais disponíveis nas unidades de produção Filial Sorocaba e Filial Porto Feliz, fortalecendo assim a sua estratégia de fornecimento.

Como resultado destes experimentos, foram desenvolvidos quatro combinações, traços de concreto considerados de acordo com as especificações ficando assim disponíveis para utilização. A Tabela 2 apresenta as combinações estudadas com os fornecedores disponibilizados pela empresa de serviços de concretagem.

Tabela 2. Combinações estudadas

Materiais	Fornecedores			
	Sorocaba		Porto Feliz	
	C1	C2	C3	C4
Cimento	VSH			
Adição	HP			
Areia de quartzo	RO		EX	
Areia artificial	AD	VO	VO	VO
Brita 0	AD	VO	VO	VO
Brita 1	AD	VO	EX	VO
Gelo				
Aditivo Plastificante	RH	RH	MX	MX
Aditivo Hiper-plastificante	GL	GL	GL	GL

Na Tabela 3 apresentam-se as características físicas no estado fresco de cada uma das quatro combinações oferecidas e suas respectivas resistências à compressão. Nota-se que as resistências ficaram acima do especificado em função da adoção de adições e limitação da relação água/aglomerante.

Tabela 3. Características dos concretos

Características	Combinação			
	Sorocaba		Porto Feliz	
	C1	C2	C3	C4
Consumo de aglomerante - kg/m ³	414	414	408	412
Relação água/aglomerante	0,44	0,44	0,44	0,44
Massa específica - kg/dm ³	2,514	2,527	2,546	2,509
Abatimento inicial - mm	15	30	35	50
Espalhamento final - mm	600	620	740	680
Resistência compressão 28 dias- MPa	70,3	72,2	68,3	71,9

4 Projeto e construção do elemento estrutural de sacrifício “EES”

A geometria complexa concebida no projeto do “EES” foi elaborada para verificar a capacidade do traço de concreto projetado para as estruturas do Labgene, em preencher e se acomodar nas formas de concreto, permeando por uma densa camada de armadura estrategicamente montada para este fim. A Fig. 1 apresenta a forma geométrica proposta pelo CTMSP para o “EES”.

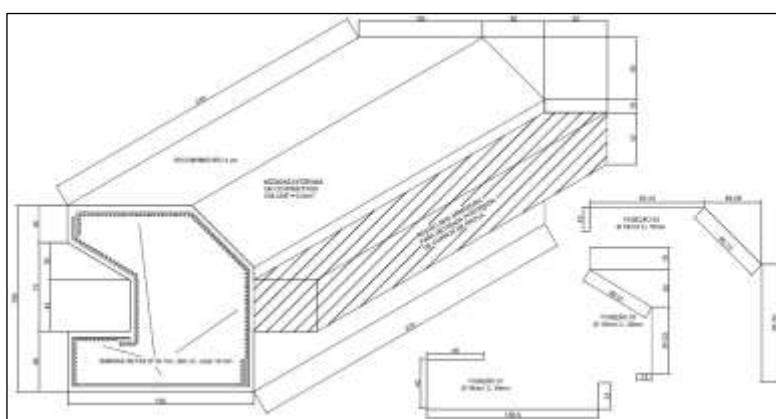


Figura 1. “EES”. Modelo desenvolvido pelo CTMSP

Trata-se de um bloco de concreto armado, com dimensões básicas de 2,70 x 1,50 x 1,50m, formando o volume total de um caminhão, 6m³, com faces horizontais e inclinadas, formando reentrâncias e um dente, não armado, projetado especialmente para possibilitar a realização de extrações de testemunhos para realização de ensaios físicos e mecânicos. A armadura é composta de barras de 16mm a cada 19mm, nas duas direções formando literalmente uma peneira.

Para o controle da elevação da temperatura adiabática do concreto foram montadas duas linha de termopares, instalados conforme croquis apresentados na Fig. 2.

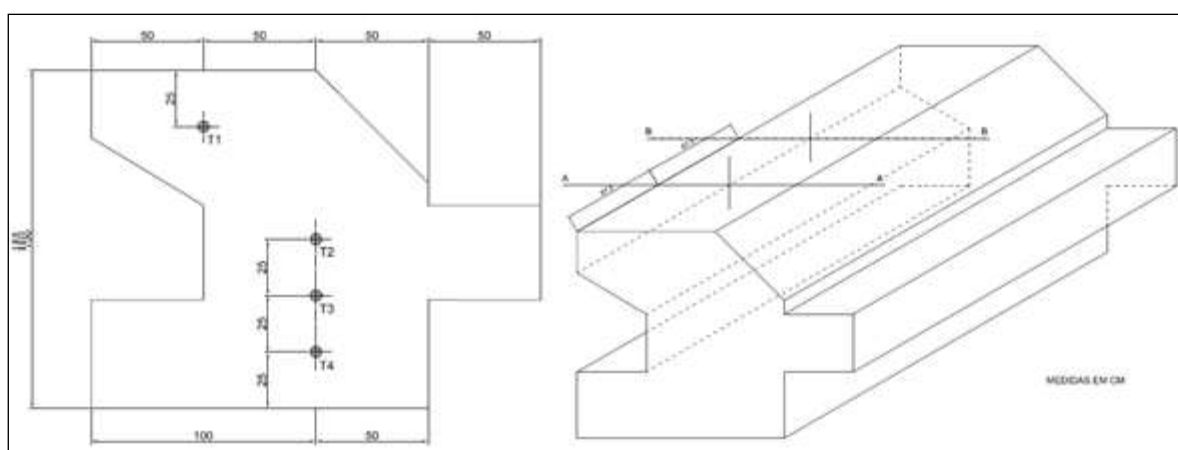


Figura 2. “EES”. Esquema de posicionamento dos termopares

A sequência de fotos abaixo, as Fotos 2 a 5, registram as fases da montagem das armaduras e formas para construção do “EES” no entorno do Labgene, ao lado da futura portaria.



Fotos 2 a 5. Sequencia de montagem das armaduras e formas do “EES”

Para construção deste elemento estrutural de sacrifício utilizou-se a combinação “C3”, Tabela 3, de concreto estudado da Filial Porto Feliz da empresa de serviços de concretagem contratada, por ser a mais favorável do ponto de vista da estratégia de fornecimento.

A concretagem do “EES”, ocorreu no dia 30/11/2012. Todos os procedimentos prévios de verificações, de acordo com os procedimentos estabelecidos na especificação elaborada para controle na usina foram realizados. As condições de armazenamento dos materiais componentes do traço foram inspecionadas e antes da dosagem foram verificadas as temperaturas de cada material.

Também foram verificados os procedimentos de pesagem dos materiais componentes do traço e determinação da umidade dos agregados para a correção da água do traço, em conformidade com a dosagem em atendimento aos limites estipulados pela ABNT NBR 7212. As quantidades dosadas são apresentadas na Tabela 4, abaixo já compensadas as umidades relativas contidas nos agregados miúdos, para 6m³ de concreto.

Tabela 4. Quantidades dosadas no caminhão

Material	Quantidades kg/m ³
Cimento	2334
Adição	114
Areia de quartzo	3900
Areia artificial	1974
Brita 0	4632
Brita 1	948
Gelo	666
Aditivo Plastificante	12
Aditivo Hiper-plastificante	22

A sequência de fotos abaixo, Fotos 6 a 13, apresentam detalhes do controle realizado na usina, Filial de Porto Feliz da empresa de serviços de concretagem contratada.



Foto 6 a 9. Controle realizado na usina para dosagem do caminhão protótipo.



Foto 10 a 13. Controle realizado na usina para dosagem do caminhão protótipo, gelo e aditivos.

No recebimento do concreto na obra, uma amostra da mistura foi retirada para verificação da temperatura da mistura e realização do ensaio de espalhamento, requisitos de recebimento. A temperatura ambiente local registrada na data foi 31,9°C e a temperatura do concreto verificada registrou 21°C, e o espalhamento de 700mm que foram considerados adequados para a aplicação do concreto.

O concreto foi liberado para aplicação na estrutura e foram moldados corpos de prova (100 x 200) mm, para ensaios de compressão axial, ABNT NBR 5739, diametral, ABNT NBR 7222, módulo de elasticidade estático, ABNT NBR 8522, a serem ensaiados nas idades de controle e outras a serem definidas.

Na sequência de fotos abaixo, Fotos 14 e 15 apresentam a determinação dos ensaios para recepção do concreto na obra, medida de temperatura e espalhamento realizado de acordo com a Parte 2 da ABNT NBR 15823.



Fotos 14 e15. Controle de recebimento do concreto, temperatura e espalhamento.

A Foto 16, abaixo, apresenta aspectos da moldagem dos corpos de prova para realização de ensaios físicos e mecânicos, de acordo com a ABNT NBR 5738.



Foto 16. Aspectos da moldagem de corpos de prova.

Aceito o concreto, deu-se início aos procedimentos de moldagem do elemento estrutural de sacrifício. A sequência de fotos abaixo, Fotos 17 a 20 apresentam aspectos dos procedimentos adotados.



Foto 17 a 20. Aspectos da concretagem do “EES”.

O concreto, mesmo com características auto-adensáveis, teve sua aplicação prejudicada pela pequena inclinação da bica de descarga do caminhão, este fato aliado a altíssima taxa de armadura aumentou significativamente o tempo de descarga. Mesmo assim apresenta-se na sequencia de fotos abaixo, Fotos 21 e 22, o perfeito aspecto final do “EES” após a desforma.



Foto 21 a 22. Aspecto do “EES” após a desforma.

Apresenta-se a seguir, na Tabela 5, o resumo dos resultados das propriedades mecânicas aferidas nos ensaios realizados de controle tecnológico, aos 28 dias de idade.

Tabela 5. Resumo dos resultados dos ensaios mecânicos

Ensaio	Resultado
Resistência à compressão – NBR 5739	63,1 MPa
Tração por compressão diametral – NBR 7222	5,2 MPa
Módulo de elasticidade – NBR 8522	38,0 GPa

Foram registradas, com os termopares instalados, a elevação da temperatura adiabática do concreto até os três dias de idade, o gráfico da Fig. 5 apresenta esta evolução.

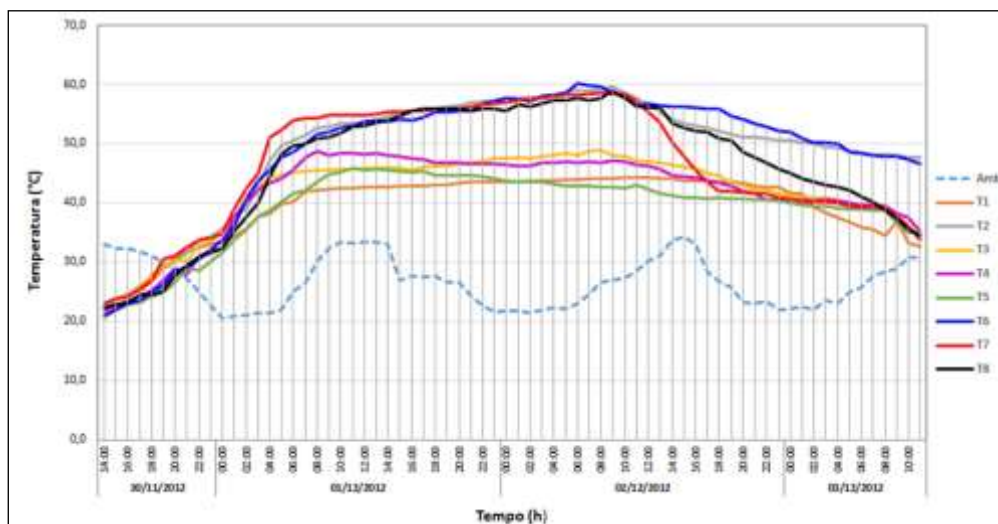


Figura 5. Acompanhamento da elevação da temperatura

Os resultados destes ensaios servirão de embasamento futuro para realização dos estudos térmicos necessários para construção dos elementos estruturais de grandes dimensões.

5 Uso do “EES”

Propõe-se que, durante a vida útil do Labgene, se utilize esta estrutura como objeto de estudo da evolução das propriedades físicas e mecânicas do concreto auto-adensável aplicado em suas estruturas.

Uma pequena avaliação de propriedades físicas e mecânicas foi realizada em 28.03.14, dando início assim início aos estudos que deverão ser realizados ao longo do tempo.

Apresentam-se nas Tabelas 6 e 7, o resumo das propriedades físicas e mecânicas aferidas aos 482 dias, 1 ano e quatro meses, de idade.

Tabela 6. Resumo dos resultados dos ensaios físicos, valores médios obtidos.

Ensaio		Resultados	
		CP Moldados	CP Extraídos
Absorção de água (%)	NBR-9778	1,59	1,55
Índice de vazios permeáveis (%)		3,91	3,81
Massa específica seca (g/cm ³)		2,452	2,464
Massa específica seca (g/cm ³)		2,491	2,502
Massa específica seca (g/cm ³)		2,552	2,562
Velocidade de propagação ultrasônica (m/s)	NBR-8802	5.334	5.363

Tabela 7. Resistência à compressão máxima obtida no ensaio

Resistência à compressão (MPa) NBR-5739	
CP Moldado	CP Extraído
97,2	83,7

Os resultados destes ensaios servirão de embasamento futuro para realização de estudos comparativos de desempenho a idades mais avançadas.

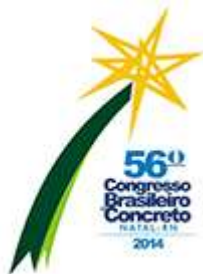
6 Conclusões

A principal função da construção deste “EES”, elemento estrutural de sacrifício, além de verificar a eficiência do controle de produção, do recebimento do concreto no canteiro e, das propriedades auto-adensáveis do concreto projetado para construção das estruturas do Labgene, foi a de permitir aferir em verdadeira grandeza a evolução da elevação da temperatura adiabática deste concreto.

Este acompanhamento forneceu informações importantes que embasaram os estudos térmicos realizados que auxiliaram os construtores destas estruturas a elaborar seus planos de concretagem de forma que as temperaturas internas do concreto ficassem em patamares seguros, evitando assim a ocorrência de fissuras no concreto por diferencial térmico com a temperatura ambiente nos elementos estruturais já construídos.

Uma segunda e não menos importante função é oferecer a oportunidade de se acompanhar ao longo dos anos o desenvolvimento das propriedades físicas e mecânicas do concreto auto-adensável e auxiliar aos pesquisadores a definir novos parâmetros de vida útil para estruturas de concreto produzidas com este novo conceito de produção de concreto, até então não submetidas a um estudo de longa duração.

7 Referências



AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 116R-00**: Cement and Concrete Terminology(Reapproved 2005). Michigan: ACI Committee 116, 2000.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 207.2R-07**: Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete. Michigan: ACI Committee 207, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1074-11**: Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method. W. Conshohocken, PA: ASTM International, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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 7212**: Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222**: Determinação da resistência à tração por compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522**: Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8802**: Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2013. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9479**: Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e Concreto endurecido - Determinação da absorção de água, do índice de vazios e massa específica – Metodo de ensaio Rio de Janeiro, 2005. 4 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, 2008/2009. 7 p.

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



Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2014
Outubro / 2014

@ 2014 - IBRACON - ISSN 2175-8182



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823 – Parte 1**: Concreto auto-adensável – Classificação, controle e aceitação no estado fresco - Procedimento. Rio de Janeiro, 2010. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823 – Parte 2**: Concreto auto-adensável – Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

Comissão Nacional de Energia Nuclear. **CNEN-NN-1.16** - Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações. Rio de Janeiro, 2000.

Standard Review Plan for Vibratory ground motion the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants (**NUREG-0800**). USA, 2007.