



**ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ELEMENTO DE CONCRETO DE GRANDES DIMENSÕES:  
ESTUDO DE CASO  
PARQUE EÓLICO OSÓRIO/RS - BLOCO DE FUNDAÇÃO.**

**MARCELLO GUEDES PINTO**

**PORTO ALEGRE**

**2006**

**MARCELLO GUEDES PINTO**

**ELEMENTO DE CONCRETO DE GRANDES DIMENSÕES:  
ESTUDO DE CASO  
PARQUE EÓLICO OSÓRIO/RS - BLOCO DE FUNDAÇÃO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Orientador: Eng. Civil, M.Sc., Dr. (USP) Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre

2006

**MARCELLO GUEDES PINTO**

**ELEMENTO DE CONCRETO DE GRANDES DIMENSÕES:**

**ESTUDO DE CASO**

**PARQUE EÓLICO OSÓRIO/RS - BLOCO DE FUNDAÇÃO.**

Este trabalho de conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de 2006

---

**Orientador: Eng. Civil, M.Sc., Dr. (USP) Ruy Alberto Cremonini**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof<sup>a</sup>. Ângela Borges Masuero**  
Eng. Civil, M.Sc., Dr. (UFRGS)

---

**Prof<sup>a</sup>. Ana Luiza Abitante**  
Eng. Civil, M.Sc.

*Dedico esse trabalho à minha família e aos meus amigos, que serviram de escudo a todas as imposições adversas que cruzaram meu caminho durante essa árdua jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Alberto Martin Costa Pinto e Vera Christina Guedes Pinto, que patrocinaram minha participação nesse curso de pós-graduação e me incentivaram, principalmente nos momentos mais difíceis, na obtenção de mais esse trunfo da minha carreira.

Agradeço às minhas irmãs queridas, Fernanda e Daniela Guedes Pinto, que deram muita força nas ocasiões em que mais precisei e que me serviram de apoio para vencer os obstáculos tão difíceis que enfrentei ao longo dessa caminhada.

Agradeço ao Prof. Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho, pela disponibilidade que prestou para meu auxílio na conclusão do curso e, em especial, dessa monografia.

Agradeço aos meus colegas do curso, com muitos dos quais pude desenvolver verdadeira amizade e com os quais espero poder manter contato para minha vida pessoal e profissional.

Agradeço a Deus, pela força que me deu para resistir a todas as imposições sugestivas à derrota, que surgiram nesses dois anos de curso, às quais pude superar com sucesso..

Por fim, o agradecimento especial ao esforço desse autor que se apresenta aqui feliz, não apenas pela obtenção do título de especialista, mas por tudo que esse trabalho realizado em Osório/RS representou para seu crescimento profissional e da engenharia civil no estado e no país.

*Uma idéia que não é perigosa não  
merece ser chamada de idéia.*

*Oscar Wilde*

*A força não provém da capacidade  
física, e sim de uma vontade  
indomável.*

*Mahatma Gandhi*

*Quando você quer alguma coisa,  
todo o Universo conspira para que  
você realize o seu desejo.*

*Paulo Coelho*

## RESUMO

PINTO, M G. **Concreto de grandes dimensões: estudo de caso parque eólico osório/rs – bloco de fundação**. 2006. 59 f. Trabalho de conclusão (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Nas obras civis de grande porte, a definição do traço ideal para o concreto representa grande preocupação para os engenheiros. As especificações de projetos e a disponibilidade de insumos são os principais condicionantes para as dosagens e os ensaios. Contudo, muitas empresas construtoras pecam pela utilização de composições pré-estabelecidas, baseadas em traços bem sucedidos em outras obras, porém com insumos de natureza diferente dos disponíveis. Isso ocorre, muitas vezes, devido a não disponibilidade de tempo para uma dosagem e com ensaios normatizados com uso dos prazos necessários para obtenção de resultados definitivos. Essa monografia trata do desenvolvimento tecnológico do concreto, com abordagem específica na construção dos blocos de fundação para os aerogeradores do Parque Eólico de Osório/RS-Brasil. Contempla a definição de um traço para concreto-massa, dosado e experimentado ao longo da execução das primeiras unidades concretadas. Demonstra os problemas encontrados face à inexistência, a priori, de uma especificação baseada nos insumos disponíveis para a obra e verifica, a posteriori, a adequação do traço mediante experimentos e análise de patologias. É apresentada a evolução completa do traço dividida em quatro etapas distintas em que se utilizam composições de insumos, com definições e avaliações emitidos pelo laboratório de concreto da Fundação CIENTEC de Porto Alegre/RS.

Palavras-chave: concreto-massa, calor de hidratação, retração hidráulica, ensaios, patologias.

## ABSTRACT

PINTO, M G. **Concrete of Great Dimensions: Study of Case Aeolian Park Osório/RS - Block of Foundation.** 2006. 59 f. Work of conclusion (Specialization in Civil Construction) - Department of Civil Engineering, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

In the grate civil buildings, the definition of the ideal trace for the concrete represents great concern for the engineers. The specifications of projects and the availability of materials are the main conditions for the dosages and the assays. However, many construction coMPAnies sin for the use of daily pay-established compositions, based in successful traces in other buildings, however with materials of different nature of the available ones. This occurs, many times, due the non-availability of time for a dosage and with assays in norms with use of the necessary stated periods for attainment of definitive results. This monograph deals with the technological development of the concrete, with specific boarding in the construction of the blocks of foundation for the WECs - Wind Energy Converters- of the Aeolian Park of Osório/RS-Brazil. It contemplates the definition of a trace for concrete-mass, dosed and tried throughout the execution of the first concreted units. It demonstrates to the joined problems face to the inexistence, a priori, of a specification based on the available materials for the workmanship and verifies, a posteriori, the adequacy of the trace by means of experiments and analysis of pathologies. The complete evolution of the trace divided in four distinct stages is presented where if it uses compositions of materials, with definitions and evaluations emitted for the laboratory of concrete of Foundation CIENTEC of Porto Alegre /RS.

Key words: concrete-mass, hydrate of cement's heat, hydraulical retraction, assays, pathologies.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Primeiro traço utilizado nas bases Concretagem da Base OAG 23 .....	20
Tabela 2 - OAG 23 - Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos.....	22
Tabela 3 - OAG 23 - Parâmetros estatísticos .....	22
Tabela 4 - Variação do Primeiro traço utilizado nas bases – Concretagem da Base OAG 24.	25
Tabela 5 - OAG 24 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos ....	26
Tabela 6 - Base OAG 24 - Parâmetros estatísticos.....	27
Tabela 7 - Segundo traço utilizado nas bases – Concretagem da Base OAG 25 .....	29
Tabela 8 - OAG 25 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos ....	30
Tabela 9 - Base OAG 23 - Parâmetros estatísticos.....	31
Tabela 10 - Terceiro traço utilizado nas bases - Concretagem das Bases.....	36
Tabela 11 - OAG 22 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos ..	40
Tabela 12 - OAG 22 – Análise estatística dos ensaios de compressão.....	40
Tabela 13 - OAG 21 - Análise estatística dos ensaios de compressão .....	41
Tabela 14 - OAG 20 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos ..	43
Tabela 15 - OAG 20 - Análise estatística dos ensaios de compressão .....	43
Tabela 16 - OAG 19 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos ..	44
Tabela 17 - OAG 19 - Análise estatística dos ensaios de compressão .....	44
Tabela 18 - Primeira alternativa para o traço definitivo .....	45
Tabela 19 - Traço definitivo utilizado nas fundações a partir da oitava concretagem - OAG 19.....	46
Tabela 20 - OAG 05- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	49
Tabela 21 - OAG 06- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	49
Tabela 22 - OAG 02- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	49
Tabela 23 - OAG 07- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	50
Tabela 24 - OAG 11- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	50
Tabela 25 - OAG 18- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	50

Tabela 26 - OAG 17- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	50
Tabela 27 - OAG 01- Análise estatística dos ensaios de compressão .....	50
Tabela 28 - SAG 20 – Início do Parque Sangradouro Análise estatística dos ensaios de compressão .....	51
Tabela 29 - OAG 10 Análise estatística dos ensaios de compressão .....	51

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - OAG 23 – Cálculo do fck estimado de 28 dias.....	24
Quadro 2 - Módulo de deformação do traço utilizado na Base OAG 23.....	24
Quadro 3 - Base OAG 24 - Cálculo do fck estimado de 28 dias.....	27
Quadro 4 - Base OAG 24 - Cálculo do fck estimado de 28 dias.....	31
Quadro 5 - Módulo de deformação do traço utilizado na fundação IAG 08.....	51

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - OAG 22 - Controle de temperatura após a concretagem da base .....	39
Gráfico 2 - OAG 20 - Controle de temperatura após a concretagem da base .....	42
Gráfico 3 - OAG 05 - Controle de temperatura após a concretagem da base. ....	48

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
2	CONCRETO-MASSA .....	15
3	ESTUDO DE CASO - FUNDAÇÕES .....	18
3.1	ETAPA 1: PRIMEIRO TRAÇO .....	18
3.1.1	Desenvolvimento do primeiro traço .....	18
3.1.2	Utilização e resultados do primeiro traço .....	21
3.2	ETAPA 2: SEGUNDO TRAÇO .....	28
3.2.1	Desenvolvimento do segundo traço.....	28
3.2.2	Utilização e resultados do segundo traço.....	29
3.3	ETAPA 3: TERCEIRO TRAÇO.....	33
3.3.1	Desenvolvimento do terceiro traço.....	33
3.3.2	Utilização e resultados do terceiro traço.....	37
3.4	ETAPA 4: QUARTO TRAÇO - DEFINITIVO.....	45
3.4.1	Desenvolvimento do traço definitivo.....	45
3.4.2	Utilização e primeiros resultados do traço definitivo .....	47
	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS .....	55
	ANEXOS.....	56
	ANEXO A – PROJETO GEOMÉTRICO TÍPICO DE FUNDAÇÃO.....	57
	ANEXO B – PROCEDIMENTO PARA REPARO EM ESTRUTURA DE CONCRETO....	58
	ANEXO C – LISTA DE NORMAS ABNT APLICÁVEIS .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata de uma abordagem prática do tema concreto, em referência específica ao empreendimento Aproveitamento Integral Eólico de Osório/RS, o qual foi implantado nesse município pelo Grupo Elecnor da Espanha, através de sua filial Elecnor do Brasil Ltda.

A obra contempla a construção de uma usina de energia elétrica, onde a geração é feita pelo aproveitamento da força eólica da região. É composta por 75 aerogeradores (AGs), separados em três parques, Osório (OAGs), Sangradouro (SAGs) e Índios (IAGs), com 25 máquinas cada, que se interligam a uma subestação no interior do Parque e, posteriormente, à subestação de distribuição pública da CEEE. O número de identificação das AGs não representa, necessariamente, a ordem em que foram executadas.

O Aerogerador modelo Enercon-E70, fabricado na Alemanha pela empresa Enercon, é composto, basicamente, por um conversor de energia, acoplado a três “pás” de 35 metros de comprimento, posicionados sobre uma torre de concreto protendido de 98 metros de altura, composta por segmentos pré-moldados. Esse conjunto, somado aos transformadores de corrente e aos dispositivos de controle instalados no interior da torre, atinge um peso de 20850 toneladas sobre um bloco de fundação com 402 m<sup>3</sup> de concreto armado, com 57 toneladas de aço. O bloco (Base do aerogerador), por sua vez, apóia-se sobre 32 estacas com comprimento médio de 23 metros, variável de acordo com as condições do solo no local de cada torre.

A Base do aerogerador, devido ao seu grande volume de concreto executado de uma única vez, apresenta características próprias de Concreto Massa. Embora sua geometria se aproxime ao de uma estrutura monolítica, teoricamente livre de fissuração, houve patologias significantes nas primeiras unidades concretadas, as quais sugeriram um estudo mais aprofundado para ajuste do traço. Na observância desses fatos e com base nos estudos e ensaios realizados antes e durante a obra para ajustar o traço, além dos procedimentos de cura utilizados para melhoria do produto final, surgiu o interesse em desenvolver essa Monografia.

A intenção, além de ratificar os benefícios das pesquisas na área de tecnologia de concreto, foi apresentar as dificuldades encontradas durante a obra e as vantagens das respectivas soluções adotadas, de modo a criar bibliografia capaz de facilitar a execução de obras similares.

## 2 CONCRETO-MASSA

Segundo Mehta P. Kumar (1994), “O comitê ACI 116<sup>1</sup> definiu **concreto massa** como o concreto de uma estrutura de grande volume, por exemplo, viga, pilar, estaca, comporta ou barragem, onde seu volume é de tal grandeza, que requer meios especiais para combater a geração de calor e posterior mudança de volume”.

A energia liberada na reação do cimento com a água, chamada calor de hidratação, eleva a temperatura da peça concretada e provoca a dilatação térmica. Essa deformação dependerá da magnitude da variação de temperatura e do coeficiente de dilatação térmica do concreto. Tal fenômeno ocorre nos primeiros dias após a concretagem, quando a concentração de reagentes é maior e é agravado em peças de grande porte, devido à dificuldade para dissipação dessa energia do interior do elemento para o meio externo.

Após o aquecimento e a dilatação, ocorre a retração pelo resfriamento em equilíbrio com o ambiente. As tensões de tração no concreto, originadas por essa queda de temperatura e pelas restrições ao movimento impostas à peça, provocam fissuras em virtude de serem maiores que a resistência atingida pelo concreto em pequenas idades. Segundo Neville Adam M. “... O problema fundamental é devido à presença de restrições às mudanças de volume”. O grau de restrição da peça está diretamente ligado à sua geometria de modo que, quanto maior for sua espessura, maior será a diferença de temperatura entre a superfície e o interior. Isso provocará diferença entre as respectivas taxas de deformação e criará restrições internas. Desse modo, poderão ocorrer fissuras no interior da peça durante o período de aquecimento e, na superfície, durante o resfriamento.

Segundo Mehta P. Kumar, “Se a peça de concreto estivesse totalmente restringida ( $K=1$ ), o resfriamento produziria uma tensão de tração de  $\epsilon E= 3,1$  MPa. Uma vez que a resistência elástica à tração do concreto comum é normalmente menor que 3,1 MPa, é provável que haja fissuração se não houver alívio devido a relaxação de tensão”. É importante frisar que uma relaxação de tensão por fluência sempre ocasionará uma redução das tensões



de tração e, conseqüentemente, da fissuração do concreto, mas não necessariamente eliminará suas ocorrências.

As ações no sentido de evitar a elevação da temperatura em concretagens de grandes volumes consistem, principalmente, na escolha cuidadosa e tratamento dos componentes da mistura, na sua dosagem adequada e nas condições de lançamento do concreto. Segundo Mehta P. Kumar (1994) “O controle da temperatura de lançamento é uma das melhores maneiras de evitar fissuras térmicas no concreto. O pré-resfriamento do concreto fresco é um método comumente utilizado para controlar a subsequente queda de temperatura. Com freqüência, agregados resfriados e/ou escamas de gelo são especificados para produzir misturas do concreto-massa, nas quais a temperatura do concreto fresco é limitada a 10°C ou menos”. Segundo Neville Adam M. (1982) “... Os componentes do concreto fresco podem ser resfriados de tal modo a baixar sua temperatura a 7°C”. Já em relação à escolha dos componentes do concreto, Neville Adam M. (1982) aconselha “Cimento com baixo calor de hidratação, baixo teor de cimento, substituição do aglomerante por pozolanas, agregado arredondado e aditivos redutores de água”.

Embora se procure reduzir ao máximo a fissuração térmica através do controle do calor de hidratação, para eliminar as fissuras no concreto-massa, é muito importante que se evite o “choque térmico” da peça de concreto com o meio externo. Segundo Neville Adam M. (1982) “A solução do problema não consiste em limitar o aumento de temperatura no interior, mas em evitar a perda de calor na superfície. Dessa forma, toda a massa de concreto se aquece de modo aproximadamente uniforme e pode se dilatar sem qualquer restrição. Com o decorrer do tempo, ocorre um resfriamento aproximadamente uniforme em toda a massa e a estrutura atinge suas dimensões finais sem qualquer restrição. Para evitar uma grande perda de calor, as fôrmas e a parte superior da estrutura devem ser devidamente isoladas”.

Ao longo desse trabalho, serão verificadas as alternativas utilizadas na obra para minimizar o surgimento de fissuras térmicas, seja pela redução do calor de hidratação, seja pelo impedimento da perda desse calor para o ambiente.

Outro fator importante a ser analisado é a ocorrência de fissuração pela retração do material concreto, a qual está indiretamente ligada à retração térmica da peça como um todo. Isso se deve ao fato de que na tentativa de se reduzir o calor de hidratação, tende-se a reduzir a quantidade de cimento e, se não for efetuado uso de aditivos em substituição à água de amassamento, ocasionar-se-á uma sobra dessa água na mistura, a qual irá precisar sair durante

a cura criando porosidade e fissuração.

### **3 ESTUDO DE CASO - FUNDAÇÕES**

O projeto de fundação dos aerogeradores, concebido pela alemã Enercon, foi traduzido e adaptado às normas brasileiras de modo a possibilitar sua execução com respectivo controle de qualidade. Faz parte da tecnologia do aerogerador, entretanto, devido a ser o único componente que não é pré-fabricado, tem sua construção terceirizada e fiscalizada pelo próprio cliente, a Elecnor.

Com base nas cargas estáticas e dinâmicas oriundas, respectivamente, do peso próprio e da operação das máquinas e, também, nas características do solo na localização de cada torre, determinaram-se as especificações executivas para as estacas e para o bloco de fundação. As estacas não serão tratadas diretamente nesse trabalho, que terá seu foco exclusivo na concretagem da Base.

As principais condições de contorno, referentes à resistência e à durabilidade do concreto da base, foram o consumo mínimo de cimento e a relação água/cimento. Especificaram-se ensaios de compressão e de módulo de deformação elástica, de modo a comprovar a eficiência do traço, em conjunto com o acompanhamento de campo do eventual aparecimento de fissuras.

#### **3.1 ETAPA 1: PRIMEIRO TRAÇO**

##### **3.1.1 Desenvolvimento do primeiro traço**

Para a execução da obra, em função do prazo estreito e da inexistência de usinas de concreto próximas capazes de abastecer de acordo com as necessidades do consumo, foi necessário construir uma no interior da área destinada para a obra. A concreteira contratada para fornecê-la foi a Redimix de Porto Alegre, que instalou duas centrais de concreto do tipo

“to go” de porte médio. Com isso, todo o concreto utilizado teria sua produção programada e supervisionada pela construtora, de modo a minimizar a ocorrência de possíveis falhas no abastecimento durante as concretagens contínuas de, aproximadamente, 10 horas.

Foi necessário determinar um traço, com base nas determinações do projetista e desenvolvido por especialista em concreto, de modo a promover a primeira concretagem em poucos dias. A especificação original de projeto definia como teor mínimo de cimento 400 kg/m<sup>3</sup>, abatimento de tronco de cone (slump) 100+/-20mm e uma relação água/cimento máxima de 0,45. Essas condições seriam questionadas mais tarde, após um maior conhecimento sobre como se comportaria o concreto. A partir delas e com base e nos materiais disponíveis para utilização em Osório, seja em função do preço ou do prazo de entrega, determinou-se o traço para a execução das primeiras bases. Para isso, foram disponibilizadas amostras de cimento e dos demais insumos para realização das dosagens e respectivos ensaios no laboratório CIENTEC, de Porto Alegre.

Normalmente, possui-se acervo dos resultados de ensaios de concreto e dos traços com uso dos diversos cimentos existentes no mercado, combinados com as variadas qualidades e proporções de agregados, bem como com uso de aditivos e adições. Entretanto, como o cimento a ser utilizado seria um produto novo, recém lançado para comercialização, possuíam-se apenas alguns poucos ensaios em condições diferentes às que se apresentariam na obra. Segundo o Eng Fernando Recena, do CIENTEC (Considerações sobre os princípios que nortearam o dimensionamento do traço de concreto empregado na concretagem das três primeiras bases. Porto Alegre, dezembro de 2005), “Não se dispunha, por óbvio, de dados históricos do desempenho deste cimento, dificultando qualquer projeção quanto ao seu comportamento ao longo do tempo, principalmente quanto ao crescimento da resistência dos 7 para os 28 dias de idade e para idades posteriores. Não se conhecia o desvio padrão da central dosadora responsável pela produção do concreto e por se tratar de uma central do tipo ‘to go’ em que a pesagem dos materiais ocorre pela descarga direta da concha da pá carregadeira sobre a balança dos agregados, estimava-se um valor superior aos 4,0 MPa sugerido por norma (NBR 12655:1996). Não houve tempo hábil para a execução de uma dosagem experimental, tendo o traço sido dimensionado empiricamente com base em apenas um estudo de dosagem encomendado à CIENTEC pelo fabricante de cimento com agregados diferentes daqueles em utilização na obra. A partir destas condicionantes, o traço foi projetado de forma conservadora visando o atingimento da resistência especificada.”

Assim sendo, para o desenvolvimento do primeiro traço, com desempenho a ser analisado para ajustes nas bases seguintes, foram feitas analogias com comportamentos apresentados por cimentos similares, em concretos dosados com uso dos mesmos agregados. Nesse momento, foi importante a experiência do Laboratório para apresentar uma combinação que atendesse às especificações de projeto e que minimizasse ao máximo o aparecimento de manifestações patológicas, após a concretagem e a cura das fundações. Foi definido, um concreto com um coeficiente de segurança maior que o usual em relação à obtenção da resistência de projeto,  $F_{ck}$  30 MPa aos 28 dias, e por isso, possivelmente apresentaria resistência superior a essa. Esse primeiro traço, apresentado na Tabela 1, atendia às especificações de projeto, exceto à relação água/cimento máxima pela necessidade de obter-se o abatimento, e por isso fora necessária análise e aprovação do projetista para dar início às concretagens.

Após parecer do tecnologista de concreto, em comum acordo com o projetista de fundações, onde definiu-se que a classe de agressividade de norma em que o meio se enquadrava era a tipo III (forte), a relação água/cimento máxima foi alterada para 0,55 e o traço foi aprovado para uso.

Tabela 1 - Primeiro traço utilizado nas bases Concretagem da Base OAG 23

<b>Fck 30,0 MPa – Bombeável</b>			
<b>Local de aplicação: Bases e lajes de subpressão</b>			
	<b>Quantidades</b>	<b>Unidade</b>	<b>Fornecedor</b>
<b>Cimento</b>	414	Kg/m <sup>3</sup>	CP-IV-Cimpor
<b>Areia Média</b>	595	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
<b>Areia Fina</b>	149	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
<b>Brita 0</b>	192	Kg/m <sup>3</sup>	S. Joaquim
<b>Brita 1</b>	834	Kg/m <sup>3</sup>	Ribas
<b>Água</b>	199	Kg/m <sup>3</sup>	-
<b>Aditivo plastificante</b>	0,3% sobre a massa do cimento		
<b>Aditivo suprplastificante</b>	Opcionalmente até 0,3% sobre a massa de cimento		
<b>Slump recomendado: 110 ± 10 mm</b>			

Fonte: CIENTEC.

### 3.1.2 Utilização e resultados do primeiro traço

Foram moldados, em laboratório, corpos-de-prova (CPs) com esse concreto para ensaio aos 3, 7, 14, 28 e 64 dias e determinação da curva de crescimento de resistência. Poucos dias depois, foram concretadas a primeira fundação, OAG 23, e a segunda, OAG 24, com o uso desse traço e moldados os respectivos corpos de prova para ensaio conforme determinações da normas ABNT para controle de concreto aplicáveis. Em virtude da proximidade entre as datas dessas duas concretagens e devido ao fato de não se possuir nenhum parâmetro anterior para se propor alguma alteração no traço, optou-se por mantê-lo em ambas as bases. O desempenho dessas e os resultados dos ensaios realizados simultaneamente com os CPs moldados no CIENTEC seriam os parâmetros de que se precisava para se nortear os futuros ajustes de dosagem.

#### • Primeira concretagem – OAG 23 – 15/11/2005

Na primeira concretagem, o concreto não apresentou boa trabalhabilidade e criou-se certa dificuldade para vibração, uma vez que se precisariam preencher regiões de difícil acesso devido à alta taxa de armadura. Com isso, percebeu-se de imediato o primeiro indicativo da necessidade de mudança no traço: Seria preciso aumentar a fluidez, evidentemente, sem ultrapassar o limite da relação água cimento de 0,55. Restaria avaliar o comportamento durante e após a cura, para se ter parâmetros definitivos e buscar soluções através da mudança nas proporções dos insumos, ou até mesmo, uso de superplastificante, conforme sugerido na definição do traço.

Nos primeiros 7 dias após essa concretagem, foi feita a cura úmida com a circulação constante de água na superfície da base e uso de manta de bidin na superfície para mantê-la úmida. Devido ao pouco tempo transcorrido, não havia sido percebida aparecimento de fissuração, o que ocorreria mais tarde. Foram rompidos os CPs moldados no CIENTEC e estes já apresentaram grande crescimento de resistência, o que se repetiu nos resultados dos CPs moldados durante a concretagem da base. Aos sete dias, já se verificou resistências superiores à de projeto e isso era novo indicativo para alteração no traço: Seria possível aumentar a relação água cimento, a qual havia sido usada como 0,48 de modo conservador. Ainda assim, seria preciso investigar e analisar possíveis ocorrências de fissuras por retração hidráulica, antes de aumentar a porção de água na mistura.

A seguir, é apresentada a análise estatística dos resultados de 28 dias de idade do

concreto empregado na base OAG 23.

Tabela 2 - OAG 23 - Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos

CP	RESISTÊNCIA (MPa) 7DIAS	RESISTÊNCIA (MPa) 28 DIAS
158	35.8*	44,4
159	34.8*	43,4
160	32.7*	41,6
161	35.2*	42,9
162	35.8*	43,8
163	-	41,2
164	34.5*	44,6
165	36.6*	45,5
166	31.9*	41,8
167	34.4*	45,1
168	30.3*	40,1
169	32.8*	44,3
170	33.1*	42,6
171	32.7*	42,2
172	34.1*	44,0
173	33,2	44,2
174	28,0	36,1
175	30,1	42,2
176	31,9	41,9
177	30,4	45,7
178	-	40,7
179	34,3	46,8
180	30,7	41,4
181	29,4	43,0
182	24,6	34,3

\* Rompidos aos 8 dias

Fonte: CIENTEC

Tabela 3 - OAG 23 - Parâmetros estatísticos

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS CALCULADOS	
Resistência média da amostra	$f_{cm} = 42,6MPa$
Desvio padrão da amostra	$sn = 2,78MPa$

Coeficiente de variação	$\nu = 6,53\%$
Resistência mínima	$f_{c\text{mín.}} = 34,3\text{MPa}$
Resistência máxima	$f_{c\text{máx.}} = 46,8\text{MPa}$

Fonte: CIENTEC



A estimativa da resistência característica à compressão ( $f_{ck,est}$ ) foi feita com base no disposto no item nº 7.2.3.1 da NBR 12655:1996 a partir de um controle por amostragem parcial com  $n > 20$ , sendo o valor determinado apresentado a seguir:

**Estimativa da resistência característica à compressão**

$$f_{ck, est} = f_{cm} - 1,65 \times s_n = 38,0 \text{ MPa}$$

Quadro 1- OAG 23 – Cálculo do fck estimado de 28 dias.

Fonte: CIENTEC

Nessa primeira concretagem, conforme exigência de projeto, foi feito ensaio de módulo de elasticidade cujo resultado é apresentado abaixo.

Ensaio com 028 dias de idade							
Tensão (MPa)	Carga (kN)	Deformação específica ( $\epsilon = \Delta l/l$ ) ( $\times 10^{-6}$ )			Módulo de deformação secante (GPa)		
		CP 169-3	CP 169-4	CP 169-5	CP 169-3	CP 169-4	CP 169-5
0,5	3,92	0,00	0,00	0,00	-	-	-
0,1 fc	31,0	97,46	74,77	53,40	35,4	46,1	64,6
0,2 fc	62,1	204,27	180,24	161,55	36,2	41,1	45,8
0,3 fc	93,1	324,43	297,73	279,04	35,0	38,1	40,7
0,4 fc	124,1	449,93	423,23	400,53	34,0	36,1	38,2
0,5 fc	155,1	578,10	554,07	526,03	33,3	34,7	26,6
0,6 fc	186,2	718,29	700,93	666,22	32,3	33,1	34,8
0,7 fc	217,2	865,15	867,82	813,08	31,4	31,3	33,4
0,8 fc	248,2	1052,07	1068,09	989,32	29,6	29,1	31,4
Limite de resistência à compressão (MPa)					44,3	45,6	43,5

Quadro 2 - Módulo de deformação do traço utilizado na Base OAG 23

fc = Limite teórico de resistência

Fonte: CIENTEC, Porto Alegre, 2005

• Segunda concretagem – OAG 24 – 23/11/2005

Na segunda concretagem, fora feito uso de superplastificante, adicionado diretamente no caminhão betoneira sob a supervisão do tecnologista de concreto em visita à obra. Definiu-se 0,5% como a dose ideal desse aditivo para aquele traço e, assim, obteve-se mais parâmetros práticos para se adequar o concreto a ser usado na terceira fundação, OAG 25.

Tabela 4 - Variação do Primeiro traço utilizado nas bases – Concretagem da Base OAG 24

<b>fck 30,0 MPa – Bombeável</b>			
<b>Local de aplicação: Bases e lajes de subpressão</b>			
	<b>Quantidades</b>	<b>Unidade</b>	<b>Fornecedor</b>
<b>Cimento</b>	414	Kg/m <sup>3</sup>	CP-IV-Cimpor
<b>Areia Média</b>	595	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
<b>Areia Fina</b>	149	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
<b>Brita 0</b>	192	Kg/m <sup>3</sup>	S. Joaquim
<b>Brita 1</b>	834	Kg/m <sup>3</sup>	Ribas
<b>Água</b>	199	Kg/m <sup>3</sup>	-
<b>Aditivo plastificante</b>	Aproximadamente 0,3% sobre a massa do cimento (1,2)		
<b>Aditivo suprplastificante</b>	Opcionalmente e aproximadamente 0,5% sobre a massa de concreto (arredondar ao valor inteiro mais próximo).		
<b>Slump recomendado: 110 ± 10 mm</b>			

Fonte: CIENTEC.

Entretanto, esta terceira concretagem estava programada para poucos dias a seguir e não haveria tempo suficiente para aguardar a cura completa das primeiras bases e definir os ajustes do traço. Sendo assim, a dosagem do segundo traço seria feita com base nos indicativos conhecidos até então e na observância das primeiras patologias que nesse momento, já se apareciam na OAG 23.

Na base OAG 23, havia iniciado o surgimento de fissuras na superfície, as quais se apresentaram transversais à peça, características de deformação térmica, e longitudinais com ramificações, características de retração hidráulica, estas presentes em maior quantidade que as primeiras. Tanto as fissuras por secagem, como aquelas por dilatação, precisariam de observação, monitoramento de seus avanços, ou retrações, e correções nos casos mais críticos.

De qualquer modo, antes da definição desse segundo traço, foram rompidos os primeiros CPs moldados na concretagem do OAG 24, os quais têm seus resultados apresentados a seguir e que possuíram resultados muito semelhantes aos da base OAG 23, inclusive apresentando o mesmo valor do fck estimado aos 28 dias. Essa compatibilidade de

resultados serviu como ratificação dos ensaios da primeira base e forneceu mais certezas sobre o comportamento do concreto, dos materiais e dos processos envolvidos em sua produção.

O ensaio de 7 dias não foi realizado, sendo esse feito aos 12 dias. Esse fato deveu-se às dificuldades encontradas no início da obra para remeter os CPs de Osório a Porto Alegre. Posteriormente, seriam instalados dois laboratório de ensaio de concreto na obra, um deles juntamente à usina, o qual seria fiscalizado pela construtora e outro da empresa Consultec juntamente ao canteiro de obras da Gerenciadora Elecnor, para a realização das contraprovas. Com os ensaios feitos nas dependências da obra e com a realização das contraprovas, tornaria-se muito mais ágil e, de certa forma, mais confiável seus resultados.

A seguir, é apresentada a análise estatística dos resultados de 28 dias de idade do concreto empregado na base OAG 24.

Tabela 5 - OAG 24 – Ensaio de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos

<b>CP</b>	<b>RESISTÊNCIA (MPa) 12 DIAS</b>	<b>RESISTÊNCIA (MPa) 28 DIAS</b>
295	37,9	46,2
296	38,9	47,5
297	34,8	43,5
298	36,3	43,9
299	35,6	38,4
300	32,5	39,2
301	37,6	41,3
302	33,2	41,0
303	35,3	45,4
304	33,8	40,3
305	33,0	39,8
306	32,5	40,1
307	33,0	44,2
308	34,5	43,1
309	33,2	39,7
311	40,2	50,0
312	37,4	44,7
313	33,5	41,8
314	37,4	46,4
315	38,1	43,9
316	37,4	41,8
317	35,8	41,8

Fonte: CIENTEC.

Tabela 6 - Base OAG 24 - Parâmetros estatísticos

<b>PARÂMETROS ESTATÍSTICOS CALCULADOS</b>	
Resistência média da amostra	$f_{cm} = 42,9MPa$
Desvio padrão da amostra	$sn = 2,99MPa$
Coefficiente de variação	$v = 6,97\%$
Resistência mínima	$f_{cmín.} = 38,4MPa$
Resistência máxima	$f_{cmáx.} = 50,0MPa$

Fonte: CIENTEC

A estimativa da resistência característica à compressão ( $f_{ck,est}$ ) foi feita com base no disposto no item nº 7.2.3.1 da NBR 12655:1996 a partir de um controle por amostragem parcial com  $n > 20$ , sendo o valor determinado apresentado a seguir:

**Estimativa da resistência característica à compressão**

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times sn = 38,0MPa$$

Quadro 3 - Base OAG 24 - Cálculo do  $f_{ck}$  estimado de 28 dias

Fonte: CIENTEC.

Após a realização dos ensaios de 28 dias dos CPs das bases OAG 23 e OAG 24, foi possível obter um diagnóstico, apresentado a seguir, a respeito do comportamento do primeiro traço. Com isso, puderam-se efetuar as correções no traço, conforme anteriormente indicado.

*Interpretação dos resultados*<sup>1</sup>

Nos dois lotes o valor do  $f_{ck,est}$  é superior ao valor de projeto ( $f_{ck,proj}=30,0$  MPa) permitindo a aceitação automática da estrutura quanto à resistência à compressão. Os valores obtidos permitem realizar correção no traço do concreto para redução do consumo de cimento, o que já foi feito, estando o novo traço disponível desde 7 de dezembro.

O valor do desvio padrão nas duas amostras é compatível com a produção de concreto em centrais dosadoras gravimétricas.

O coeficiente de variação indica produção homogênea e de boa qualidade.

<sup>1</sup> OAG 23 e OAG 24 - Análise dos ensaios. Fonte: CIENTEC.

## 3.2 ETAPA 2: SEGUNDO TRAÇO

### 3.2.1 Desenvolvimento do segundo traço

Para a concretagem da terceira fundação, OAG 25, foram feitos ajustes ao traço, no sentido de reduzir a quantidade de cimento em obediência a especificação de projeto (mínimo de 400kg/m<sup>3</sup>) e aumentar a trabalhabilidade do concreto. Não fora alterada a relação água/cimento em função de, até a data desta concretagem, não se conhecer os resultados de 28 dias da primeira fundação, OAG 23. Estes apresentariam valores de resistência bastante acima de 30 MPa, conforme a tabela 2. Além disso, se deveria aguardar uma maior observação nas fissuras superficiais ocorrentes nessa fundação e, ainda, possíveis ocorrências na OAG 24. O segundo traço ainda fora uma solução conservadora, procurou-se fazer pequenos ajustes de modo a poderem-se estabelecer analogias esclarecedoras em relação ao primeiro.

Foi cogitado o uso de adições pozolânicas de modo a retardar a reação ao máximo e para controlar o efeito exotérmico, que já se mostrava causador de pequenas patologias no OAG 23, mas os impedimentos para fornecimento desses insumos em Osório, além da inexistência de local para armazenagem na usina construída inviabilizaram essa alternativa. Foi cogitada, também, a redução no uso de areia fina para, com isso, reduzir a necessidade de água necessária à obtenção de maior. Com isso a quantidade de água na dosagem se aproximaria àquela necessária para a hidratação do cimento e reduzir-se-ia a quantidade de água livre para evaporação. Entretanto, como a areia fina fora introduzida no traço devido a grande disponibilidade e baixo custo na região, sua substituição afetaria bastante no orçamento do concreto. Seria preciso, então, trabalhar com os mesmo insumos originais, com alteração de suas proporções conforme avaliações de custo, além de em respeito às especificações de projeto.

Sendo assim, houve apenas redução sutil na quantidade de cimento e alteração das proporções dos agregados. Uma mudança mais profunda apenas poderia ser feita após o adiantamento da cura na primeira fundação para avaliação das fissuras. O traço utilizado na base OAG 25 está apresentado na tabela 7, apresentada a seguir. As doses de aditivos foram mantidas, pois notou-se experimentalmente, que seria o mais indicado para se atingir o abatimento recomendado.

Tabela 7 - Segundo traço utilizado nas bases – Concretagem da Base OAG 25

<b>Fck 30,0 MPa - Bombeável</b>			
<b>Local de aplicação: Bases e lajes de subpressão</b>			
	<b>Quantidades</b>	<b>Unidade</b>	<b>Fornecedor</b>
<b>Cimento</b>	405	Kg/m <sup>3</sup>	CP-IV-Cimpor
<b>Areia Média</b>	633	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
<b>Areia Fina</b>	158	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
<b>Brita 0</b>	188	Kg/m <sup>3</sup>	S. Joaquim
<b>Brita 1</b>	752	Kg/m <sup>3</sup>	Ribas
<b>Água</b>	195	Kg/m <sup>3</sup>	-
<b>Aditivo plastificante</b>	0,3% sobre a massa do cimento		
<b>Aditivo suprplastificante</b>	Opcionalmente até 0,3% sobre a massa de cimento		
<b>Slump recomendado: 110 ± 10 mm</b>			

Fonte: CIENTEC

Uma alternativa complementar seria submeter à análise do projetista possíveis alterações nas especificações iniciais, com base nos resultados dos ensaios em corpos de prova, os quais possibilitaram maior conhecimento sobre o comportamento do concreto.

O problema consistia, basicamente, na necessidade de redução do calor de hidratação e, ao mesmo tempo, de redução da quantidade de água utilizada na dosagem. Entretanto, para se reduzir o calor de hidratação seria necessário reduzir a quantidade de cimento utilizada, o que iria contra a especificação de projeto e que precisaria de análise a aprovação do projetista. Essa alternativa seria implementada mais adiante, para novos ajustes de traço.

### 3.2.2 Utilização e resultados do segundo traço

Essa primeira alteração no traço original forneceria pouca mudança nas características do concreto, de modo que pode ser considerar esse segundo traço, como um ajuste fino do primeiro, sem intenção de concluir a solução do problema de concreto. Isso poderia ser feito após a cura das três primeiras bases, OAGs 23, 24 e 25. Entretanto, foi o melhor que se pode fazer no momento, diante da escassez de dados experimentais que se obtinha.

- **Terceira concretagem – OAG 25 – 28/11/2005**

Na prática, o concreto utilizado na OAG 25 não apresentou ganho significativo de desempenho e inclusive se demonstrou, em alguns aspectos, inferior ao primeiro.

A trabalhabilidade não foi significativamente diferente e, portanto, a pequena substituição de água por aditivo superplastificante com aumento da proporção de areia, o que também tinha objetivo de equilibrar os custos, poderiam ser utilizados sem problemas. Algumas falhas no processo de vibração, durante a concretagem, provocariam o aparecimento de “bicheiras” após a retirada das formas. Essas falhas de concretagem necessitaram de tratamento especial e serão mencionadas mais adiante, juntamente com o tratamento das demais patologias.

Mesmo com quantidade de cimento reduzida e com relação água/cimento sutilmente superior à do primeiro traço, as resistências obtidas nos primeiros dias foram superiores às das bases OAG 23 e OAG 24 e, também, o Fck estimado para essa amostragem foi superior ao do primeiro traço. Isso seria um indicativo, confirmado posteriormente, do aparecimento de patologias após a desforma daquela base.

Segundo parecer enviado pelo CIENTEC, com observação específica apresentada na página 29, esse aumento do fck se deveu ao fato de que além da resistência média dos CPs ter sido realmente maior, houve uma redução no desvio padrão das amostras. Isso demonstrou um acréscimo de precisão no processo de dosagem da central instalada e possibilitaria reduzir a margem de segurança no desenvolvimento do traço, através do aumento da relação água cimento. Assim, a partir de uma redução de água, se poderia reduzir sensivelmente quantidade de cimento e minimizar o efeito térmico na peça de concreto.

A seguir, é apresentada a análise estatística dos resultados de 28 dias de idade do concreto empregado na base OAG 25.

Tabela 8 - OAG 25 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos

<b>CP</b>	<b>RESISTÊNCIA (MPa) 9DIAS</b>	<b>RESISTÊNCIA (MPa) 28 DIAS</b>
372	40,2	46,3
373	36,9	47,1
374	33,2	43,0
375	34,8	48,6
376	37,1	47,3
377	39,2	48,3
378	35,3	48,8
379	36,3	45,8
380	36,6	45,8
381	38,1	45,8
382	38,6	48,8

CP	RESISTÊNCIA (MPa) 9DIAS	RESISTÊNCIA (MPa) 28 DIAS
383	39,4	52,1
384	36,6	51,6
385	37,6	49,1
386	33,5	48,8
387	34,5	45,3
388	37,4	48,8
389	35,8	46,8
390	34,3	44,8
391	33,8	48,3
392	34,3	45,3
393	34,0	46,6
394	31,4	43,5

Fonte: CIENTEC.

Tabela 9 - Base OAG 23 - Parâmetros estatísticos

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS CALCULADOS	
Número de exemplares	$n = 23$
Resistência média da amostra	$f_{cm} = 47,2MPa$
Desvio padrão da amostra	$sn = 2,27MPa$
Coefficiente de variação	$v = 4,81\%$
Resistência mínima	$f_{c\text{mín.}} = 43,0MPa$
Resistência máxima	$f_{c\text{máx.}} = 52,1MPa$

Fonte: CIENTEC

A estimativa da resistência característica à compressão ( $f_{ck,est}$ ) foi feita com base no disposto no item nº 7.2.3.1 da NBR 12655:1996 a partir de um controle por amostragem parcial com  $n > 20$ , sendo o valor determinado apresentado a seguir:

**Estimativa da resistência característica à compressão**

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65xsn = 43,4MPa$$

Quadro 4 - Base OAG 24 - Cálculo do fck estimado de 28 dias

Fonte: CIENTEC.



Após a realização dos ensaios de 28 dias dos CPs da base OAG 25, foi possível obter um diagnóstico, apresentado a seguir, a respeito do comportamento deste traço, o qual apresentou alterações sutis em relação àquele utilizado nas bases anteriores. Com isso, pôde-se aprofundar o desenvolvimento final do traço, inclusive questionando as especificações originais de projeto.

### *Interpretação dos resultados<sup>2</sup>*

O valor do  $f_{ck,est}$ . É superior ao valor de projeto ( $f_{ck,proj}=30,0$  MPa) permitindo a aceitação automática da estrutura quanto à resistência à compressão. Os valores obtidos permitem realizar correção no traço do concreto para redução do consumo de cimento, o que já foi feito, estando o novo traço disponível desde 7 de dezembro. O valor do desvio padrão nas duas amostras é coMPatível com a produção de concreto em centrais dosadoras gravimétricas. O coeficiente de variação indica produção homogênea e de boa qualidade.

Ainda em relação aos resultados da base OAG 25, o CIENTEC emitiu comentário com vistas a indicar possíveis alterações do traço par as próximas bases.

### *Observação final<sup>3</sup>*

Considerando os resultados obtidos observa-se um aumento da resistência média do concreto produzido e uma redução no desvio padrão da amostra o que justifica o aumento do  $f_{ck,est}$ .

Conforme já orientado anteriormente justifica-se e impõe-se a alteração do traço empregado, considerando o valor máximo admissível para a relação água/cimento previsto pela NBR 6118:2003 para as condições de exposição da estrutura (0,55), e reduzindo a quantidade de água com conseqüente redução no abatimento pelo tronco de cone, sendo obtida a trabalhabilidade requerida pelo emprego de aditivo superplastificante, conforme já anteriormente sugerido na última análise estatística, enviada via e-mail, por esta consultoria.

---

<sup>2</sup> OAG 25 - Análise dos ensaios. Fonte: CIENTEC.

<sup>3</sup> OAG 25 - Comentário final a respeito dos ensaios de concreto. Fonte: CIENTEC.

### 3.3 ETAPA 3: TERCEIRO TRAÇO

#### 3.3.1 Desenvolvimento do terceiro traço

Com o avançar da cura da primeira fundação, foi percebido o fechamento de grande parte das fissuras, as quais haviam sido devidamente mapeadas e monitoradas pelo controle de qualidade da obra. Nas aberturas em que não ocorreu a colmatação completa, foi feito tratamento com argamassa aditivada especial, conforme diagnóstico enviado pelo CIENTEC a respeito das patologias ocorridas nas fundações OAG 23, 24 e 25. Esse diagnóstico está apresentado na página 31.

Nas semanas após a concretagem da base OAG 24, percebeu-se o aparecimento de fissuração semelhante às da OAG 23. A proporção de ocorrências, também foi muito similar à da base anterior, o que possibilitou efetuar novo monitoramento nessa base, enquanto já se verificava a colmatação através do processo de cura úmida, ou a execução dos devidos reparos na primeira.

Dessa forma, após transcorridas as duas primeiras semanas de cura úmida em cada uma das duas primeiras fundações, foram corrigidos seus defeitos, de modo que as mesmas se apresentaram aptas à aprovação do projetista para apoio das respectivas torres de aerogerador.

A Base OAG 25, que fora concretada com o segundo traço, também sofreu processo patológico como as primeiras duas bases e, ainda, apresentou falhas de concretagem do tipo “bicheiras”, provavelmente causadas por falha no processo de vibração durante o lançamento.

Essas “bicheiras” ocorreram na região que sofre esforço de protensão da torre e, por isso, foi necessário efetuar tratamento especial com perfuração e injeção de groute, além do posterior fechamento com argamassa especial. As falhas de concretagem e sua recuperação não foram objeto de estudo desse trabalho, que concentra o enfoque no desenvolvimento do traço do concreto. Entretanto, a influência dessa ocorrência na obtenção do traço foi a indicação da necessidade do uso de um concreto mais fluído, sugestivamente com uso de aditivos, para facilitar a vibração. Chegou-se a cogitar o uso de concreto auto-adensável, entretanto as condições de dosagem da obra, através de uma central tipo “to go”, impediriam a realização de um controle mais preciso, conforme um traço dessa espécie necessitaria. Além disso, a necessidade de se moldar um plano inclinado em todo o redor da fundação requiritava o uso de um concreto um pouco mais consistente que o auto-adensável.

Desse modo, após vistoria do CIENTEC à obra em 06/12/2006, para averiguação das patologias ocorridas nas três primeiras fundações, foi possível emitir o diagnóstico apresentado a seguir. Segundo o diagnóstico do CIENTEC a fissuração poderia ser do tipo passiva, ou seja, que não aumentaria com o tempo ou, ainda, possivelmente regrediria para fechar completamente. Deveriam ser tratadas imediatamente conforme especificação apresentada ou monitoradas, para averiguar um possível fechamento pela colmatação natural, ocasionada pelo processo de cura úmida. Nesse caso, seria dispensável o custo extra com ações corretivas.

Parecer técnico sobre as manifestações patológicas encontradas nas bases já concretadas (OAG 23, 24 E 25)<sup>4</sup>.

Há dois tipos de fissuras bem definidos nas bases, ambos decorrentes de retração, um caracterizando fissuras decorrentes da retração do material e o outro da estrutura.

As fissuras de retração do material (concreto) têm sido registradas no plano inclinado da base onde é possível imaginar o concreto apresentar tensões internas decorrentes da tendência a escorrer, tornando, nesta superfície, o concreto mais vulnerável à fissuração, pois às tensões de retração por secagem devem ser acrescidas aquelas decorrentes da tendência do concreto em movimentar-se para baixo em função do ângulo do talude. No anel superior é possível constatar fissuras de desenvolvimento anelar junto à borda decorrentes da movimentação vertical do concreto em um processo de sedimentação, fruto da movimentação do concreto no plano inclinado. A fissura é definida pela armadura posicionada mais externamente a este anel superior que impede a livre movimentação vertical do concreto. Esta movimentação vertical do concreto pode igualmente ser impedida ou dificultada pelo atrito do concreto com a superfície lateral da forma deste anel superior, definindo fissuras horizontais na superfície lateral deste anel.

Estas fissuras caracterizam o alívio de tensões no material e representam a retração de porções definidas de concreto. Em geral são superficiais mas devem ser tratadas convenientemente por poderem atingir a armadura em alguns locais. Por se tratarem de fissuras de baixíssima atividade, podem ser consideradas passivas e seu tratamento consiste em realizar uma escarificação ao longo de todo o seu desenvolvimento e, assim criada a retenção, proceder ao preenchimento desta lacuna com uma argamassa de boa qualidade,

---

<sup>4</sup> FA Recena 07/12/05 - Parecer técnico sobre as patologias - OAGs 23, 24 e 25. Fonte: CIENTEC

preferencialmente formulada industrialmente para a garantia da homogeneidade de suas características. Existem no mercado argamassas industrializadas para reparos em estruturas, mas pode igualmente ser empregado um "graute" comercial tixotrópico de alta resistência. Enfim o tratamento destas fissuras deverá seguir a mesma orientação dada para o reparo de falhas de concretagem.

As fissuras radiais verificadas nas superfícies laterais das bases tanto no paramento externo como no interno caracterizam a retração da peça como um todo, em função da organização de sua ocorrência e a possibilidade de sua previsão. O que foi possível observar no local são fissuras equidistantes de abertura capilar não raro de difícil visualização. Em se tratando de uma manifestação estrutural, antes de qualquer atitude deverá ser feita uma consulta ao calculista. Em não havendo comprometimento do funcionamento da peça, seu tratamento deverá garantir a perfeita colmatação destas fissuras para, através de sua impermeabilização, poder ser garantida a durabilidade da peça, pela garantia de proteção da armadura através da reconstituição da integridade da camada de concreto que constitui o cobrimento da armadura.

Outra conduta seria aguardar a estabilização do processo de retração a partir do controle de movimentação destas fissuras ou de algumas delas tomadas como referência, para após a medição da abertura final identificar aquelas que por apresentarem abertura maior que 0,1 mm, classificadas como nocivas ao concreto, deverão ser tratadas. Devido à pequena abertura destas fissuras, o próprio processo de cura via úmida poderá desencadear um processo de auto regeneração por lixiviação do hidróxido de cálcio e sua carbonatação na superfície, obturando a fissura.

Após finalização da cura, seguida das ações corretivas efetuadas conforme instrução de trabalho apresentada no Anexo B e, após transcorridos 28 dias de cada concretagem, foi possível aprovar as três primeiras fundações para o início das montagens dos aerogeradores.

Para a aprovação dessas fundações, foi feita visita de inspeção do projetista à obra. Nessa oportunidade, foram observadas as patologias e sugeridas alternativas para efetuar correções e prevenção contra novas ocorrências, inclusive com a revisão das especificações de projeto, com vistas a obter-se um menor consumo de cimento e reduzir o calor de hidratação.

No desenvolvimento do novo traço para a concretagem da próxima fundação, a OAG 22, foi definido pelo projetista que a especificação do concreto ficaria a cargo do tecnologista

e que a especificação inicial de projeto referente ao teor mínimo de cimento de 400kg/m<sup>3</sup>, poderia ser alterada, desde que definida pelo laboratório especializado CIENTEC.

De acordo com a definição do teor de agressividade do ambiente III (forte), que define relação água/cimento máxima de 0,55, procurou-se reduzir ao máximo o consumo de cimento no novo traço. Com base nos resultados de ensaio de concreto disponíveis até o momento e mediante a observação dos avanços e retrações das patologias ao longo dos dias, foi apresentado o traço a seguir.

Tabela 10 - Terceiro traço utilizado nas bases - Concretagem das Bases  
OAG 22, OAG 21, OAG 20 e OAG 19

<b>Fck 30,0 MPa - Bombeável</b>			
<b>Local de aplicação: Bases e lajes de subpressão</b>			
	<b>Quantidades</b>	<b>Unidade</b>	<b>Fornecedor</b>
Cimento	382	Kg/m <sup>3</sup>	CP-IV-Cimpor
Areia Média	638	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
Areia Fina	160	Kg/m <sup>3</sup>	Gomes
Brita 0	195	Kg/m <sup>3</sup>	S. Joaquim
Brita 1	848	Kg/m <sup>3</sup>	Ribas
Água	199	Kg/m <sup>3</sup>	-
Aditivo plastificante	0,3% sobre a massa do cimento		
Aditivo suprlastificante	Opcionalmente até 0,3% sobre a massa de concreto		
<b>Slump recomendado: 110 ± 10 mm</b>			

Fonte: CIENTEC

O traço apresentado possui uma relação água/cimento de 0,53. Não fora utilizada a relação água/cimento máxima permitida por norma, em virtude do risco da retração hidráulica e para avaliar o ganho de resistência conforme a necessidade de projeto. Não se poderia incorrer no risco de concretar uma base e, posteriormente se verificar pelos ensaios que a resistência do concreto não atingiria 30 MPa aos 28 dias. Essa era uma premissa para o início das montagens das torres no prazo contratual da obra.

Com a confirmação de uma possível sobra de resistência e do não aparecimento de fissuras por retração do concreto na secagem, poder-se-ia fazer mais algum ajuste definitivo do traço. Para isso, seria necessário obterem-se os resultados dos ensaios, os quais ocorreriam na cura dos corpos de prova das bases seguintes e, ainda, averiguar possíveis retrações térmicas com o novo traço.

### 3.3.2 Utilização e resultados do terceiro traço

Após a visita do projetista à obra em 11/12, este apresentou algumas medidas para medir e evitar o gradiente de temperatura entre o interior da peça e o ambiente externo. Enfatizou que tais providências seriam importantes para a minimização da deformação térmica, mas principalmente, para o controle de sua influência no aparecimento das fissuras, através da redução das restrições ao movimento da peça. Dentre essas sugestões, as mais acessíveis para a obra em Osório e que foram implementadas são:

- a) o uso de termômetro no interior da massa de concreto para averiguar a temperatura interna ao longo do tempo, com medições a cada duas horas ao longo de dez dias ou mais;
- b) abafar e cobrir a superfície externa da forma com lona plástica para evitar a perda superficial do calor de hidratação para ao meio ambiente

Definiu-se que seriam concretadas as três próximas bases, OAG 22, OAG 21 e OAG 20, com esse traço e escolheu-se duas, OAG 22 e OAG 20, para se estabelecer um coMParativo com análises específicas baseadas nas medições de temperatura.

Posteriormente, devido à indisponibilidade de nova alteração no traço a tempo da concretagem da base OAG 19, esta fundação também fora concretada com esse traço.

Além disso, sabia-se que a confirmação da eficiência de um traço dependeria da continuidade no seu uso, para com isso reduzir a variabilidade na dosagem e obter-se concretos com características cada vez mais constantes. Com isso, seria possível diminuir o conservadorismo no acréscimo de cimento e viabilizar a solução para os casos patológicos das fundações.

Foram instalados tubos metálicos verticais no interior dessas fundações OAG 22 e OAG 20 antes das concretagens. Nesses tubos, com uma abertura para fora do concreto, seriam inseridos termômetros para efetuar as medições. Foram locados em três regiões diferentes em relação ao centro da massa de concreto para, com isso, poder-se avaliar a variação de temperatura em distâncias distintas em relação ao ambiente externo.

• **Quarta concretagem – OAG 22 – 14/12/2005**

O terceiro traço possuiu boa trabalhabilidade e propiciou uma concretagem bastante uniforme, porém ainda houve problemas em relação ao calor liberado na hidratação do cimento aos primeiros dias. Ainda ocorreram, em menor escala, as fissurações por retração do concreto e da peça como um todo. Foram minimizados pelo uso da lona plástica em volta de toda a fundação para proteção contra o “choque térmico”, principalmente durante a noite, quando ocorrem os maiores gradientes de temperatura entre o interior e o exterior da base.

Nessa base, ocorreu temperatura interna máxima de 70°C, registradas no termômetro mais central da base e diferença em relação à temperatura ambiente máxima de 44°C. As maiores altas registradas ocorreram no terceiro dia de cura e os maiores gradientes, na madrugada do segundo para o terceiro dia, devido à queda da temperatura externa. A temperatura interna se estabilizou após seis dias da concretagem, quando foram interrompidas as medições.

Cabe ressaltar que, devido à geometria da fundação, o primeiro e o terceiro termômetros possuem, aproximadamente, a mesma distância em relação ao exterior da base e, mesmo o segundo termômetro sendo localizado em região central da peça, existe gradiente deste em relação ao exterior através da superfície superior da fundação. Enfim, todos os três pontos de medição de temperatura representam locais de perda de calor direta para o ambiente e são representativos para as medições.

A seguir, está apresentado o gráfico de temperaturas da OAG 22, onde:

- azul escuro refere-se ao termômetro mais próximo da forma externa;
- rosa refere-se termômetro localizado na região mais ao central da peça;
- amarelo refere-se à região mais próxima da forma interna;
- azul claro refere-se à temperatura ambiente.
- os pontos representam medições feitas de hora em hora, ao longo de seis dias, quando as temperaturas praticamente se estabilizaram.

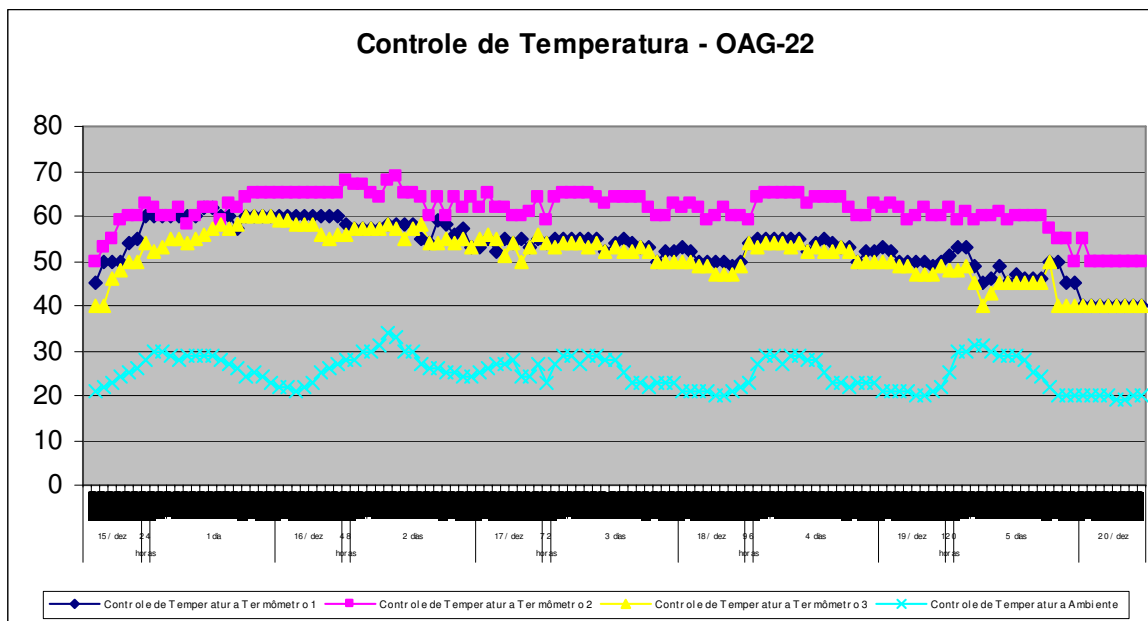


Gráfico 1 - OAG 22 - Controle de temperatura após a concretagem da base

Fonte: Archel Engenharia – Departamento Qualidade.

Nos primeiros dias de cura, observou-se novamente o crescimento acelerado das resistências à compressão dos corpos de prova. Entretanto, a resistência calculada com base na análise estatística,  $F_{ck}$  estimado, obteve valor bastante próximo da resistência de projeto, o que demonstrou uma aproximação do traço definitivo para o concreto das bases.

Restaria avaliar o desempenho das outras duas bases a serem concretadas em seqüência com esse mesmo traço, para se concluir a nova dosagem que estaria sendo testada simultaneamente com essas concretagens.

A seguir, os resultados de resultado a compressão com o concreto utilizado na base OAG 22 e a respectiva análise estatística dos resultados.



Tabela 11 - OAG 22 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos

CP	RESISTÊNCIA (MPa) 7DIAS	RESISTÊNCIA (MPa) 28 DIAS
614	39,7 *	44,3
616	38,6 *	44,6
618	36,3 *	42,4
620	39,7 *	45,8
622	37,1 *	41,2
624	39,7 *	45,6
626	34,3 *	39,2
628	35,8 *	42,2
630	33,2 *	39,6
632	34,8 *	39,5
634	42,5 **	41,9
636	37,1 **	40,2
638	38,4 **	40,4
640	32,0 **	37,7
642	30,4 **	35,2
644	36,1 **	38,4
646	31,4 **	36,8
648	36,3 **	41,5
650	30,9 **	34,1
652	30,9 **	34,6
654	30,7 **	32,1
656	27,5 **	32,9
* 12 Dias		
** 15 Dias		

Fonte: CIENTEC

Tabela 12 - OAG 22 – Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd	
<b>Amostragem</b>	22	<b>fc 28 = 32,9</b>
<b>Média</b>	39,6	
<b>Desvio padrão</b>	4,008055	
<b>Variância</b>	16,0645	
<b>Máxima</b>	45,8	
<b>Mínima</b>	32,1	

Fonte: CIENTEC

- **Quinta concretagem – OAG 21 – 16/12/2005**

A base OAG 21 não teve sua temperatura monitorada, por uma questão de amostragem e seus resultados de concreto apresentaram-se muito semelhantes aos das bases OAG 22 e OAG 20, de mesmo traço. Ainda, o surgimento de patologias também ocorreu nos mesmos padrões dessas duas bases, sendo com isso, necessárias as mesmas correções conforme instrução de trabalho específica em anexo.

Dessa forma, OAGs 22 e 21 foram suficientemente representativas em relação ao terceiro traço, dispensando apresentação de análise específica para a OAG 21.

A seguir, estão apresentados os resultados estatísticos da OAG 21

Tabela 13 - OAG 21 - Análise estatística dos ensaios de compressão

<b>n&gt;20</b>	<b>Fck est. = fcm-1,65*Sd</b>	
<b>Amostragem</b>	21	<b>fc 28 = 31,7</b>
<b>Média</b>	37,8	
<b>Desvio padrão</b>	3,691328	
<b>Variância</b>	13,6259	
<b>Máxima</b>	45,8	
<b>Mínima</b>	32,1	

Fonte: CIENTEC

- **Sexta concretagem – OAG 20 – 17/12/2005**

Na OAG 20, o monitoramento de temperatura apresentou resultados bastante próximos aos vistos na OAG 22, com uma máxima de 72°C no terceiro dia. Nesse momento, também, foi registrada a maior diferença em relação ao ambiente externo. A coincidência de uma madrugada relativamente fria, com o registro da máxima temperatura do concreto, resultou em uma diferença de temperatura de 52°C em relação ao ambiente externo, 8°C acima da diferença máxima obtida na OAG 22.

Outra diferença em relação aos resultados da OAG22, foi o tempo necessário para estabilização da temperatura interna, que demorou dez dias conforme sugerido inicialmente pelo projetista. Não se definiu explicação conclusiva para esse fato, uma vez que as demais condições de contorno se assemelharam e a OAG 22 se estabilizou com seis dias. Talvez uma análise mais aprofundada sobre as variações das condições climáticas durante a cura e uma

investigação minuciosa sobre os processos de cura das duas fundações pudessem trazer algum esclarecimento. Entretanto, esse fato foi levado em consideração, apenas, para se definir uma média entre o comportamento térmico desse traço nas bases e com isso abastecer o banco de dados na definição final do traço para continuação da obra.

Mesmo com as diferenças apresentadas, não ocorreram apresentaram manifestações patológicas significativamente diferentes daquelas vistas na outra base. Os resultados de concreto também foram bastante parecidos, com valores ligeiramente menores na OAG 20.

Outro fato importante a se reparar foi o desvio padrão, que reduziu ao longo das três concretagens com esse traço. Isso ratifica a necessidade da continuidade do uso de um mesmo para se aperfeiçoar a produção do concreto usinado.

A seguir, estão apresentados o gráfico de temperaturas e os resultados de concreto com a respectiva análise estatística, referente à base OAG 20.

A disposição dos termômetros foi a mesma utilizada na base OAG 22.

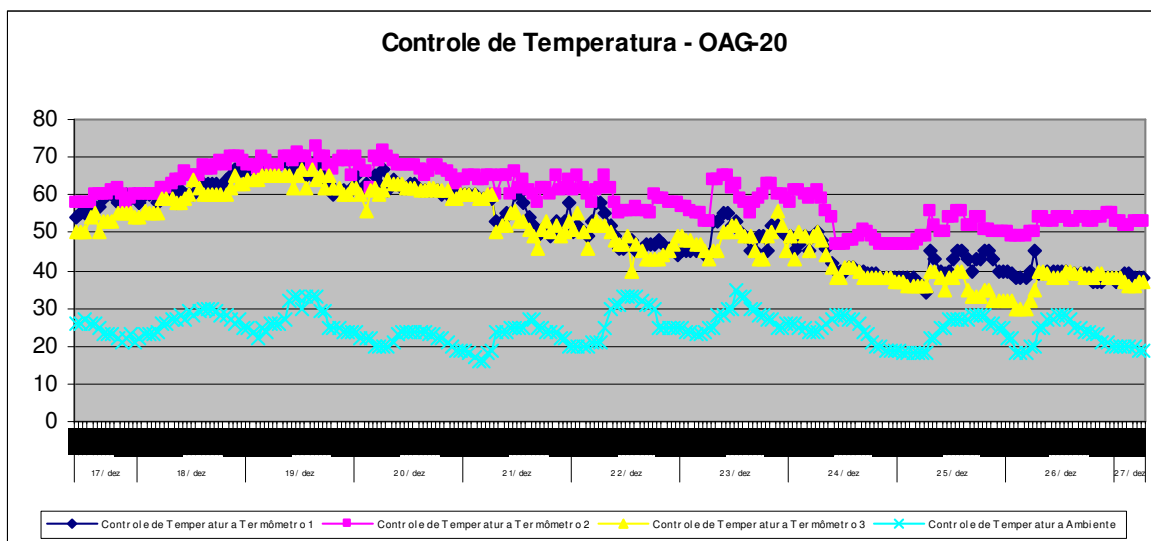


Gráfico 2 - OAG 20 - Controle de temperatura após a concretagem da base

Fonte: Archel Engenharia – Departamento de qualidade.

Tabela 14 - OAG 20 – Ensaio de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos

CP	RESISTÊNCIA (MPa) 21 e 28 DIAS	RESISTÊNCIA (MPa) 28 DIAS
734	33,4	38,2
736	34,6	41,5
738	42,5	42,3
740	38,2	39,7
742	35,9	34,1
744	41,0	36,7
746	37,7	40,0
748	37,7	36,9
750	36,7	39,5
752	-	35,4
754	26,0	33,6
756	34,9	30,8
758	29,8	40,5
760	28,5	32,1
762	33,4	34,4
764	31,8	38,2
766	-	37,9
768	32,1	32,1
770	36,2	36,2
772	30,0	30,6
774	30,6	34,9

Fonte: CIENTEC

Tabela 15 - OAG 20 - Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd	
<b>Amostragem</b>	21	<b>fc 28 = 31,4</b>
<b>Média</b>	37,0	
<b>Desv. Padr.</b>	3,361533	
<b>Variância</b>	11,2999	
<b>Máxima</b>	42,5	
<b>Mínima</b>	30,6	

Fonte: CIENTEC

Ao final das três concretagens, utilizando o traço com consumos de 382 kg cimento e 199 kg de água por metro cúbico de concreto, observou-se a continuidade do aparecimento de fissuras, tanto térmicas como hidráulicas. Seria preciso, enfim, tomar alguma medida que alterasse as propriedades do concreto de modo que se pudesse reduzir os dois consumos, sem desrespeitar as especificações de projeto.

• **Sétima concretagem – OAG 19 – 26/12/2005**

Na concretagem do bloco de fundação OAG 19, já se havia definido os parâmetros para nova alteração do traço. Entretanto, ainda não havia sequer os resultados de sete dias dessa nova dosagem e como seria um concreto bastante diferente daqueles anteriormente utilizados, optou-se por manter o uso do traço anterior na concretagem dessa base.

A seguir, estão apresentados os resultados estatísticos da OAG 19.

Tabela 16 - OAG 19 – Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos

CP	RESISTÊNCIA (MPa) 7DIAS	RESISTÊNCIA (MPa) 28 DIAS
935	30,8	39,5
937	32,6	40,7
939	25,5	32,8
941	30,0	39,5
943	30,8	37,7
945	31,3	38,2
947	27,8	35,7
949	30,8	38,7
951	23,7	34,9
953	29,0	32,8
955	29,3	35,4
957	26,2	35,9
959	25,7	40,2
961	31,1	42,3
963	30,3	32,3
965	29,8	34,6
967	30,6	37,2
969	31,3	39,7
971	28,0	37,7
973	28,5	36,9
975	27,8	34,6

Fonte CIENTEC.

Tabela 17 - OAG 19 - Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd	
Amostragem	21	fc 28 = 32,4
Média	37,0	
Desv. Padr.	2,792183	
Variância	7,796286	
Máxima	42,3	
Mínima	32,3	

Fonte: CIENTEC

### 3.4 ETAPA 4: QUARTO TRAÇO - DEFINITIVO

#### 3.4.1 Desenvolvimento do traço definitivo

Uma maior redução de cimento no traço em quantidade que surtisse o efeito esperado sobre o concreto, necessariamente ocasionaria a ultrapassagem da relação água/cimento máxima permitida por norma. Entretanto, também era necessário reduzir a quantidade de água, para controlar as tensões internas na peça, ocasionadas pela secagem com retração.

A dosagem de um novo traço passaria, então, pela redução de cimento juntamente com a redução de água, com isso, respeitando o fator água cimento limite. Para isso, seria necessária a introdução de aditivo específico que substituísse a água na obtenção do abatimento necessário para o lançamento do concreto.

Com base desses parâmetros, foram apresentadas duas alternativas de traço a serem utilizados nas bases. A diferença básica entre as elas era que na primeira, mantinha-se a relação água cimento do traço anterior e na segunda, era elevado seu valor para máximo permitido por norma, conforme as condições de exposição do ambiente. Com isso, se poderia reduzir ainda mais a quantidade de cimento no traço.

A primeira alternativa com manutenção da relação água/cimento em 0,53 é apresentada a seguir.

Tabela 18 - Primeira alternativa para o traço definitivo

<b>Material</b>	<b>Quantidade de material (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cimento CP IV RS	344
Areia fina	166
Areia média	667
Brito 0	195
Brita 1	849
Água	182
Aditivo Plastificante	1,2 (aproximadamente)

Fonte: CIENTEC

Conforme especificação do CIENTEC, esse concreto deveria ser produzido com abatimento de  $40 \pm 10$  mm e, no momento do lançamento, ser acrescentado aditivo superplastificante na dose entre 0,8 e 1,2 % sobre a massa de cimento, até que se obtenha o abatimento de  $100 \pm 20$  mm.

Na segunda opção, havia a possibilidade de se obter a resistência de projeto somente após os 28 dias e para seu uso, seria necessário moldar corpos de prova extras para possível rompimento posterior.

Como nesse momento da obra havia-se atingido um ritmo relativamente bom de produção, com mais domínio sobre os diversos processos, se poderia recuperar com mais segurança algum possível atraso ocasionado pela espera do alcance da resistência da base. Sendo assim, incorreu-se no risco de concretar a próxima base já com uso da segunda opção na tentativa de eliminar, finalmente, o aparecimento de fissuras.

Posteriormente, se verificaria a obtenção da resistência de projeto aos 28 dias, o que validaria esse traço com definitivo para uso na obra.

Segue a apresentação do CIENTEC para a alteração final no traço das bases<sup>5</sup>.

Conforme a NBR 6118:2003, para as condições de exposição da estrutura, é possível admitir uma relação água/cimento máxima de 0,55. Desta maneira a segunda alternativa aumenta a relação água/cimento para 0,55, e igualmente altera a quantidade de água sobre o total de materiais secos, reduzindo o abatimento pelo tronco de cone inicial do concreto que terá a trabalhabilidade adequada restituída a partir do uso de aditivo superplastificante.

Como na alternativa anterior, o aditivo plastificante redutor de água deverá ser substituído por outro plastificante redutor de água e retardador de pega ou mantido e associado a um aditivo específico para retardar o início de pega e conseqüentemente o endurecimento, achatando a curva de liberação do calor de hidratação, fazendo com que este calor seja liberado em um tempo maior com um pico máximo menos elevado. A vantagem deste traço reside na diminuição ainda maior do consumo de cimento.

Tabela 19 - Traço definitivo utilizado nas fundações a partir da oitava concretagem - OAG 19

<b>Material</b>	<b>Quantidade de material (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cimento CP IV RS	331
Areia fina	169
Areia média	679
Brito 0	195
Brita 1	847
Água	182
Aditivo Plastificante	1,2 (aproximadamente)

Fonte: CIENTEC

<sup>5</sup> Apresentação do traço definitivo para os blocos de fundação. Fonte CIENTEC.

### 3.4.2 Utilização e primeiros resultados do traço definitivo

Antes do encerramento das dosagens e ensaios para definição do traço, seria necessário experimentar este último apresentado em uma fundação para se analisar e, finalmente, aprovar os resultados.

A próxima concretagem seria da base OAG 05 e seria introduzido o processo de dosagem do aditivo superplastificante, diretamente no caminhão betoneira, minutos antes do lançamento do concreto. Esse aditivo possui origem orgânica e perde rapidamente suas propriedades, por isso necessitaria de maior coordenação durante a dosagem nos 58 caminhões betoneira. Para isso, seria necessário um controle de qualidade mais rigoroso, de modo a se manter a conformidade do concreto durante concretagem e também para se definir a dose ideal de aditivo superplastificante a ser utilizada para se atingir o abatimento de 120mm.

- **Oitava concretagem – OAG 05 – 29/12/2005;**

A dosagem do concreto, com os aditivos plastificante e retardador de pega, fora feita na usina deixando o concreto com abatimento de 40 mm e através de baldes graduados foram adicionadas quantidades do superplastificante conforme necessidades verificadas em campo. Não foi definido um valor fixo para a adição desse aditivo no caminhão betoneira, que deveria variar entre 0,8 e 1,2% sobre a massa do cimento, mas o que definiu a quantidade prática foi o ensaio de abatimento de tronco de cone realizado após a mistura no caminhão.

A concretagem ocorreu dentro da normalidade, com exigência do envolvimento de mais pessoas para garantia do sucesso no uso do novo traço.

Para essa base, foi repetido o procedimento de medição da temperatura nos primeiros dias. As temperaturas máximas foram as mesmas das bases OAG 22 e 20 estabilizando-se no oitavo dia. A diferença em relação ao ambiente também se manteve.

Em especial, pode-se reparar que houve o alcance de temperaturas próximas dos 70°C já no primeiro dia, o que caracteriza algum problema na dosagem do aditivo retardador de pega da usina, conforme especificado na definição do traço.



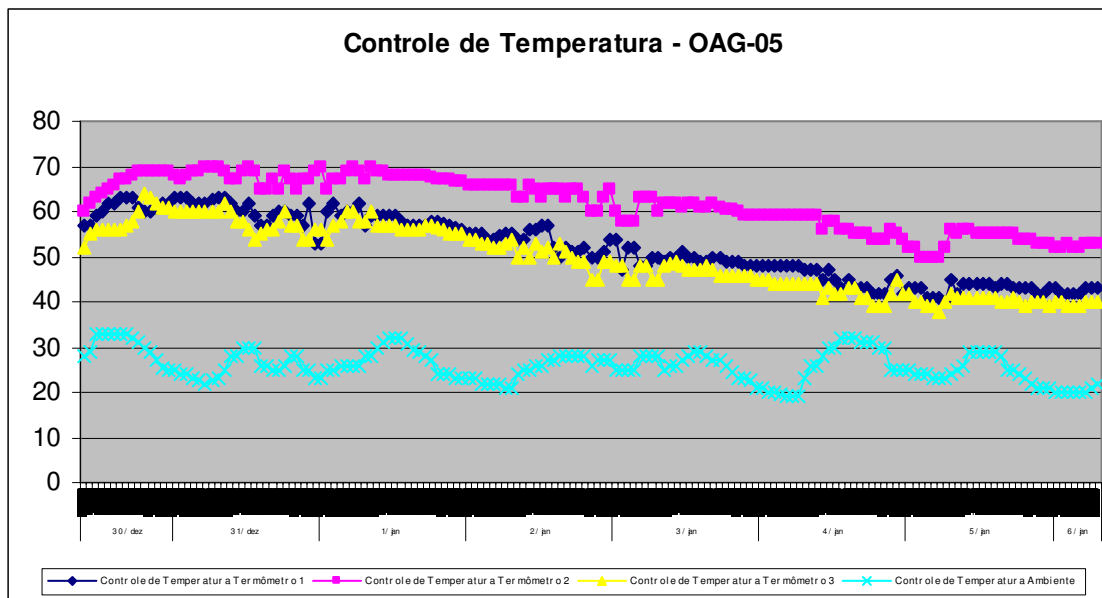


Gráfico 3 - OAG 05 - Controle de temperatura após a concretagem da base.

Fonte: Archel Engenharia – Departamento de qualidade.

Nessa base, ainda não foi observada redução satisfatória na ocorrência de patologias, tanto daquelas originadas por retração do material concreto, ocasionadas pela secagem, como das geradas pela retração da peça como um todo, ocasionadas pela dilatação térmica. Isso provavelmente deva ter ocorrido devido ao fato do desajuste comum da usina para início de trabalho com um novo traço.

Para as demais bases, não foram feitas mais medições de temperatura, entretanto os resultados satisfatórios dos ensaios a compressão e a redução progressiva das fissuras ao longo das concretagens, praticamente finalizando os problemas térmicos, promoveram a aprovação desse traço para a continuidade da obra.

Outro fator que minimizou o aparecimento de fissuras, foi a substituição da circulação de água na superfície do concreto pela manutenção da umidade com molhagens independentes. Desse modo a temperatura da água na cobertura de bedin da superfície do concreto se mantinha em equilíbrio e evitaria a transferência de calor para fora da fundação.

Restaram, ainda, com aparecimento em grau variado nas diversas bases, algumas fissuras hidráulicas e, também, térmicas em menor escala com aberturas bastante reduzidas. Porém, essas ocorrências foram consideradas aceitáveis para uma concretagem com as

proporções das bases dos aerogeradores e definiu-se que as eventuais ocorrências seguiriam sendo corrigidas conforme a instrução de trabalho específica, em anexo.

Enfim, para a obtenção de maior eficiência desse concreto, necessitou-se dar continuidade em seu uso, de modo que se aperfeiçoou a produção e reduziu sua variabilidade. Isso fora ocorrer após a concretagem de, pelo menos três bases consecutivas. Com isso, essa especificação de concreto foi aprovada e mantida para as demais fundações do Parque eólico.

Seguem os resultados estatísticos das 10 primeiras concretagens com uso desse concreto.

Tabelas de 20 a 29 - Análise estatística das primeiras dez fundações concretadas, em seqüência, com o traço definitivo.

Tabela 20 - OAG 05- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = $f_{cm}-1,65*S_d$		
<b>Amostragem</b>	22	<b>fc 28 =</b>	30,0
<b>Média</b>	37,6		
<b>Desv. Padr.</b>	4,575752		
<b>Variância</b>	20,93751		
<b>Máxima</b>	45,2		
<b>Mínima</b>	27,1		

Fonte: CIENTEC

Tabela 21 - OAG 06- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = $2 * (Soma\ fm's/ m-1)-fm$		
<b>Amostragem</b>	19	<b>fc 28 =</b>	34,4
<b>Média</b>	39,3		
<b>Desv. Padr.</b>	3,12276119		
<b>Variância</b>	9,75163743		
<b>Máxima</b>	44,8		
<b>Mínima</b>	33,7		

Fonte: CIENTEC

Tabela 22 - OAG 02- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = $f_{cm}-1,65*S_d$		
<b>Amostragem</b>	22	<b>fc 28 =</b>	39,6
<b>Média</b>	44,7		
<b>Desv. Padr.</b>	3,103329		
<b>Variância</b>	9,630649		
<b>Máxima</b>	48,8		
<b>Mínima</b>	39,9		

Fonte: CIENTEC

Tabela 23 - OAG 07- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd		
<b>Amostragem</b>	21	<b>fc 28 =</b>	34,4
<b>Média</b>	35,4		
<b>Desv. Padr.</b>	0,653727		
<b>Variância</b>	0,427359		
<b>Máxima</b>	36,7		
<b>Mínima</b>	34,4		

Fonte: CIENTEC

Tabela 24 - OAG 11- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd		
<b>Amostragem</b>	26	<b>fc 28 =</b>	31,5
<b>Média</b>	34,6		
<b>Desv. Padr.</b>	1,911713		
<b>Variância</b>	3,654646		
<b>Máxima</b>	37,4		
<b>Mínima</b>	30,6		

Fonte: CIENTEC

Tabela 25 - OAG 18- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd		
<b>Amostragem</b>	22	<b>fc 28 =</b>	29,5
<b>Média</b>	32,4		
<b>Desv. Padr.</b>	1,75		
<b>Variância</b>	3,06		
<b>Máxima</b>	35,7		
<b>Mínima</b>	29,8		

Fonte: CIENTEC

Tabela 26 - OAG 17- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd		
<b>Amostragem</b>	22	<b>fc 28 =</b>	29,0
<b>Média</b>	32,2		
<b>Desv. Padr.</b>	1,913774		
<b>Variância</b>	3,662532		
<b>Máxima</b>	37,7		
<b>Mínima</b>	30,0		

Fonte: CIENTEC

Tabela 27 - OAG 01- Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd		
<b>Amostragem</b>	21	<b>fc 28 =</b>	29,7
<b>Média</b>	33,1		
<b>Desv. Padr.</b>	2,056326		
<b>Variância</b>	4,228476		
<b>Máxima</b>	37,7		
<b>Mínima</b>	30,3		

Fonte: CIENTEC

Tabela 28 - SAG 20, Início do Parque Sangradouro - Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd		
<b>Amostragem</b>	22	<b>fc 28 =</b>	29,8
<b>Média</b>	34,4		
<b>Desv. Padr.</b>	2,759854		
<b>Variância</b>	7,616797		
<b>Máxima</b>	39,0		
<b>Mínima</b>	30,6		

Fonte: CIENTEC

Tabela 29 - OAG 10 - Análise estatística dos ensaios de compressão

n>20	fck est. = fcm-1,65*Sd		
<b>Amostragem</b>	23	<b>fc 28 =</b>	33,4
<b>Média</b>	38,2		
<b>Desv. Padr.</b>	2,882584		
<b>Variância</b>	8,309289		
<b>Máxima</b>	45,8		
<b>Mínima</b>	32,8		

Fonte: CIENTEC

Após a conclusão do traço definitivo, durante a concretagem da base IAG 08 do Parque dos Índios, fora feito novo ensaio de módulo de deformação com resultado apresentado a seguir.

Ensaio com 28 dias de idade							
Tensão (MPa)	Carga (kN)	Deformação específica ( $\epsilon = \Delta l/l$ ) ( $\times 10^{-6}$ )			Módulo de deformação secante (GPa)		
		CP 6264-3	CP 6264-4	CP 6264-5	CP 6264-3	CP 6264-4	CP 6264-5
0,5	3,92	0,00	0,00	0,00	-	-	-
0,1 fc	38,8	94,79	82,78	88,12	46,8	53,6	50,3
0,2 fc	77,5	205,61	196,26	208,28	45,6	47,7	45,0
0,3 fc	116,3	328,44	324,43	344,46	43,5	44,1	41,5
0,4 fc	155,0	456,61	463,28	485,98	42,1	41,5	39,6
0,5 fc	193,8	606,14	623,50	644,86	39,9	38,8	37,5
0,6 fc	233,0	766,36	802,40	834,45	38,0	36,3	34,9
0,7 fc	271,3	961,28	1028,04	1058,74	35,4	33,1	32,1
0,8 fc	310,1	1205,61	1365,82	1368,49	32,3	28,5	28,5
Limite de resistência à compressão (MPa)					46,2	44,7	47,4

Quadro 5 - Módulo de deformação do traço utilizado na fundação IAG 08

fc = limite teórico de resistência

Fonte: CIENTEC Porto Alegre, 2005.

Não houve objeção do projetista em relação ao módulo de deformação encontrado para a o traço definitivo. O mesmo se aplicou ao primeiro, segundo e terceiro traços usados nas bases.

## CONCLUSÃO

Nesse trabalho, pôde se verificar a importância dos conhecimentos sobre tecnologia de concreto para a construção de obras de grande porte. Foi possível visualizar as diversas opções de dosagem para concreto-massa e analisar os resultados das alternativas utilizadas nas fundações do Parque Eólico. Acompanhou-se a trajetória de desenvolvimento do concreto utilizado em todas as setenta e cinco bases da obra, o que servirá, também, como um importante registro a respeito de uma das construções mais importantes executada no País, dos últimos anos.

Foram avaliados os possíveis problemas para se executar concretagens contínuas de grandes volumes, através da análise de manifestações patológicas de origem térmica e hidráulica no concreto, ocasionadas pela carência de uma dosagem tecnologicamente desenvolvida para uso nesse projeto. Durante os primeiros quarenta e cinco dias de obra, foram feitos aprimoramentos no concreto das bases, de tal sorte que se alcançou um traço com as características necessárias para as condições de execução e controle das patologias.

As únicas definições que se possuía, ao início da obra, para determinação do traço eram a respeito dos insumos a se utilizar, pois se tratavam de fornecedores e materiais específicos, contratados com base nas condições de fornecimento. Isso era um grande limitante para o desenvolvimento do traço, mas não foi um impedimento, uma vez que se obteve, finalmente, um composto satisfatório frente aos problemas mais marcantes observados nas primeiras concretagens.

O problema térmico foi praticamente eliminado com a sensível redução da quantidade de cimento no traço. Do mesmo modo, o problema hidráulico foi solucionado em quase sua totalidade com a redução da quantidade de água. Assim, a relação água/cimento não sofreu grande alteração e a relação água/materiais secos, com o abatimento do tronco de cone

necessário para a concretagem, foram alcançados com o uso de aditivo superplastificante.

Com tudo isso, ratificou-se a necessidade da dosagem prévia na elaboração do traço a ser utilizado em grandes concretagens. Registrou-se alguns dos problemas que podem ser ocasionados pela especificação de concreto, sem conhecimento de seu comportamento em laboratório, ou em execução de obra. Outrossim, demonstrou-se a importância do acompanhamento de laboratório especializado, aplicando dados teóricos e práticos experimentais, para especificar concreto capaz de atender as necessidades de projeto, mesmo sem o tempo necessário para realização dos devidos experimentos. Ainda, verificou-se a obtenção de um concreto que atendeu as necessidades e que poderá ser utilizado em obras futuras.

Por fim, conclui-se com a declaração desse autor de sentir-se extremamente satisfeito e, até mesmo emocionado, com oportunidade de trabalhar por mais de um ano, integralmente envolvido com um projeto desse porte e, ao final, coincidentemente com o encerramento do curso de pós-graduação, poder desenvolver um trabalho, que ao mesmo tempo é um estudo e um relato sobre as ocorrências que nortearam o dia a dia, ao longo desse tempo fora de casa. Foi uma experiência bastante válida, pois se pôde acompanhar de perto os estudos para dosagem de concreto e, ao mesmo tempo a aplicação deste na obra, em face da velocidade que esta foi executada e da responsabilidade que representa.

## REFERÊNCIAS

ARCHEL Engenharia, Departamento de Qualidade – Obra Parque Eólico. Documento de Referência – Traços Aprovados, DR-607-00; DR-607-01; DR-607-02; DR-607-03. Osório, 2005.

BEIER M. **Relatório de Visita a Obra do parque Eólico em 11/12/2006**. Porto Alegre: Ref: Fundação dos aerogeradores, 2006.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Análise estatística dos resultados de 28 dias de idade do concreto empregado na edificação das bases OAG23 e 24**. Porto Alegre, novembro de 2005.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Análise estatística dos resultados de 28 dias de idade do concreto empregado na edificação da base OAG 25**. Porto Alegre, dezembro de 2005.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Considerações sobre os princípios que nortearam o dimensionamento do traço de concreto empregado na concretagem das três primeiras bases**. Porto Alegre, dezembro de 2005.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Considerações sobre a relação água/cimento e sua suposta influência sobre a retração hidráulica do concreto**. Porto Alegre, dezembro de 2005.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Proposta de evolução no traço de concreto empregado nas bases**. Porto Alegre, dezembro de 2005.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Análise estatística dos resultados de 07 dias de idade do concreto empregado na edificação da base OAG 25**. Porto Alegre, dezembro de 2005.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Relatório de Ensaio nº 17139/54350 – Determinação do Módulo de Elasticidade, Ref: Base Concreto empregado na base OAG 23**. Porto Alegre, dezembro de 2005.

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Departamento de Materiais de Construção Civil. **Relatório de Ensaio nº 17139/54350 – Determinação do Módulo de Elasticidade, Ref: Base Concreto empregado na base IAG 08**. Porto Alegre, maio de 2006.

MEHTA Povindar Kumar. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, Adam Matew. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. São Paulo: Pini, 1982.



## **ANEXOS**

## ANEXO A – PROJETO GEOMÉTRICO TÍPICO DE FUNDAÇÃO

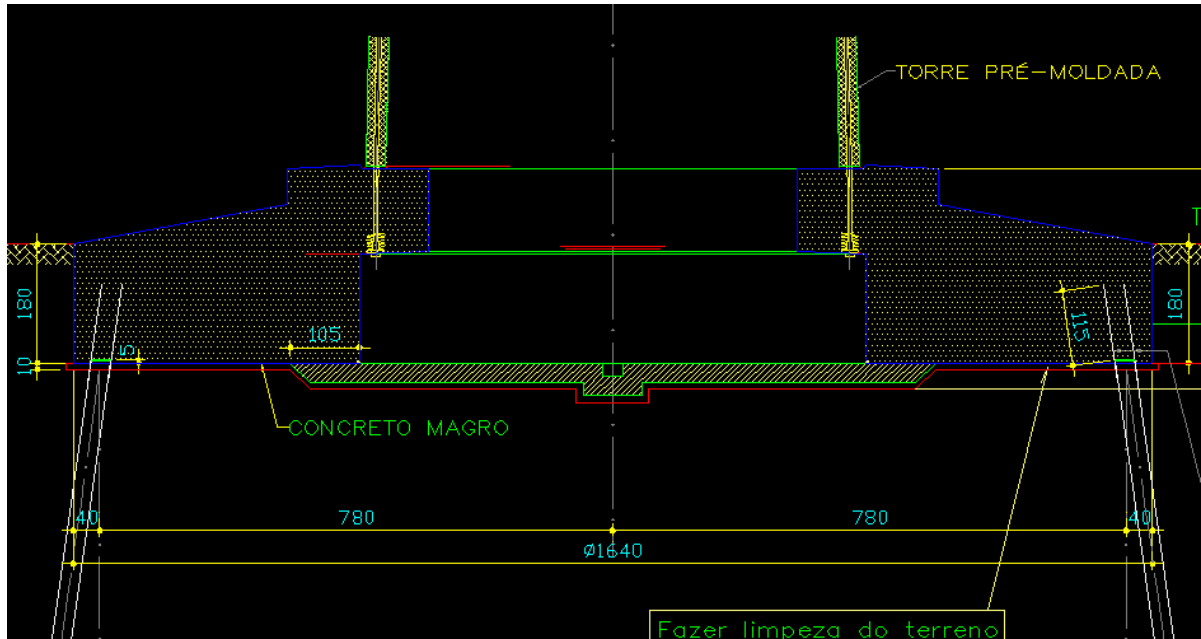


Figura 1 - Corte transversal – Apoio para o Aerogerador

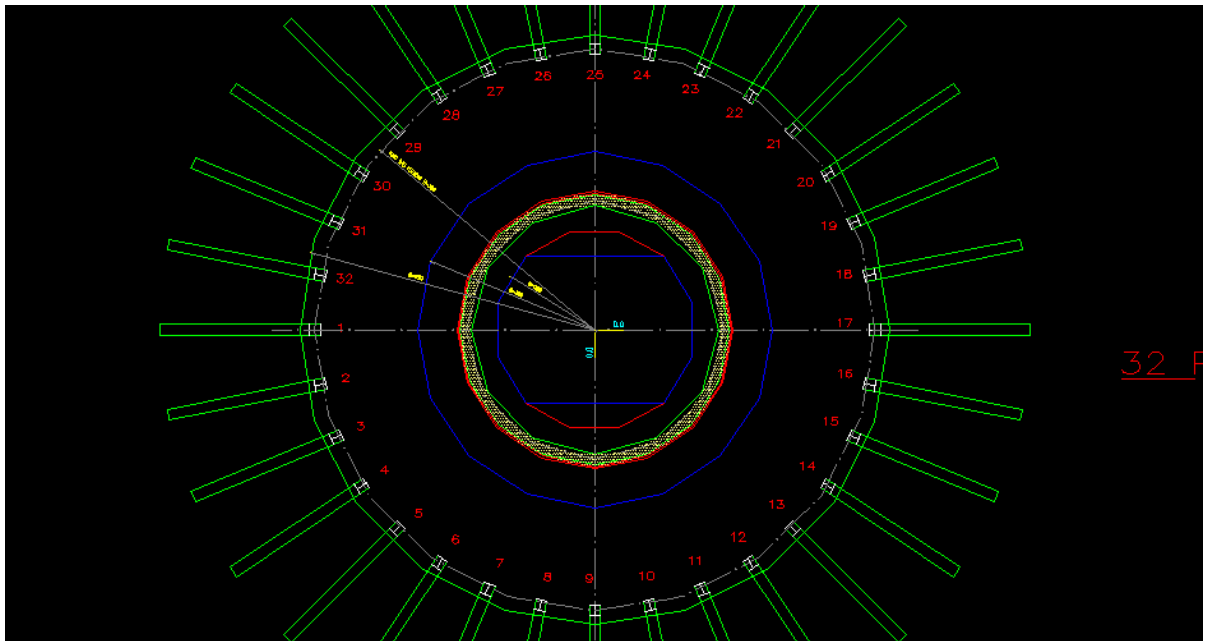


Figura 2 - Planta Baixa - 32 estacas

## **ANEXO B – PROCEDIMENTO PARA REPARO EM ESTRUTURA DE CONCRETO**

**Instrução de Trabalho. IT 617-01 - 06/12/2005**  
**Elaborado por Archel Engenharia - Depto de Qualidade;**  
**Aprovado por Elecnor – Supervisão Geral/Applus - Garantia da Qualidade**

### **1. OBJETIVO E LOCALIZAÇÃO**

Esta instrução de trabalho refere-se à execução de reparos quando da ocorrência de fissuras, trincas, bicheiras e outras falhas verificadas após a execução da estrutura de concreto.

### **2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**

- Projetos;
- Norma NBR-6118;
- Norma NBR-14931.

### **3. ASPECTOS GERAIS**

Após a verificação de algum defeito na superfície do concreto, fato que ocorre normalmente após a sua desforma, devemos realizar os reparos necessários para garantir a integridade da peça concretada.

### **4. MÉTODOS EXECUTIVOS**

Quando da verificação da necessidade de reparos, o procedimento deverá ser como descrito a seguir:

#### **4.1. MÉTODO 1 - GRAUTE**

- O local onde será realizado o reparo deverá ser apicoado manualmente ou com o auxílio de equipamento e todo o material solto deve ser removido e após lavado, deixando-se a superfície do concreto limpa, e isenta de materiais estranhos.
- A aplicação de alguma ponte de aderência não é obrigatória, pode ser usada em alguns casos específicos cuja aplicação seja conveniente, conforme orientação do fabricante.
- Em alguns locais cuja espessura seja maior que 5mm poderão ser misturados agregados(pedrisco) ao graute.

- Para dosagem do graute, sempre respeitar as orientações do fabricante que estão descritas na embalagem, qualquer dúvida consultar o engenheiro da qualidade.
- Cuidar com o nivelamento do graute.
- A resistência do graute indicada pelo fabricante deverá ser maior que a peça em questão.

#### **4.2. MÉTODO 2 - ARGAMASSA (Facilidade de aplicação em superfícies verticais e fissuras menores)**

- Utilizar para estes reparos, argamassa polimérica de alto desempenho para reparos superficiais de estruturas de concreto (Renderoc S2 ou similar).
- Antes de aplicarmos qualquer coisa, o concreto deve ser limpo e deve estar isento de óleo, graxas, pó ou qualquer material solto.
- Armaduras, quando expostas devem estar limpas e isentas de corrosão.
- Para aplicação, verificar orientações do fabricante mas é comum a utilização de uma ponte de aderência líquida na superfície do concreto (Nitobond AR misturado com 3 partes de cimento e uma de água).
- Efetuar a mistura do produto Renderoc S2 com água, e aplicar após a ponte de aderência em camadas de 5 a 25 mm que podem ser sobrepostas até ser preenchida a falha.

#### **4.3- MÉTODO 3 - XYPEX (Para reparos em fissuras muito pequenas 0,3 a 0,4mm )**

- Para estes reparos deve-se aplicar um tratamento químico cristalizante para o fechamento das fissuras, normalmente obtido através do Xypex Concentrado
- Na hora da aplicação, a superfície deve estar limpa, livre de oleosidade, desmoldantes, filmes, pasta superficial, sujeiras ou outro material estranho a superfície.
- A superfície de aplicação deve estar limpa, saturada, mas sem o excesso de água.
- Para melhor limpeza, passar uma escova de aço na fissura a aplicar jato de água para limpeza

- Conforme orientação do fabricante, se realiza a mistura do Xypex Concentrado em pó com água( para aplicação com trincha 5 partes de pó para 2 partes de água) e aplica-se com trincha em forma de pintura nos locais onde se observa a presença de fissuras.
- É indicado o uso deste processo para fissuras menores que 1.25mm.
- Para a cura deste produto, se deve aplicar água (borrifar) pelo menos três vezes ao dia durante três dias (em climas excessivamente quentes podem ser necessárias mais aplicações de água diárias) ou aplicar cura química com Gama Cure.

## **5. PROTEÇÃO DOS SERVIÇOS EXECUTADOS**

As proteções e isolamentos a serem posicionados serão definidos pela obra de acordo com as condições locais e deverão garantir e manter os alinhamentos e nivelamentos dos reparos.

**OBS:** Esta instrução se refere a casos de patologias normalmente encontradas, casos esporádicos e fora das patologias normais serão tratados de maneira específica através de comunicações, documentações dos fabricantes e outros.

## ANEXO C – LISTA DE NORMAS ABNT APLICÁVEIS

- **NBR-05738 CB-18 1994**

Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto - Procedimento.

- **NBR-05739 CB-18 1974 MB-00003**

Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos de Concreto.

- **NBR-07212 CB-18 1984 EB-00136**

Execução de Concreto Dosado em Central.

- **NBR-07223 CB-18 1992 MB-00256**

Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone.

- **NBR-08045 CB-18 1983 MB-01819**

Concreto - Determinação da Resistência Acelerada à Compressão - Método da Água em Ebulição.

- **NBR-08224 CB-18 1983 MB-01856**

Concreto Endurecido - Determinação da Fluência.

- **NBR-08522 CB-18 1983 MB-01924**

Concreto - Determinação do Módulo de Deformação Estática e Diagrama Tensão-deformação.

- **NBR-08953 CB-18 1992 CB-00130**

Concreto para Fins Estruturais - Classificação por Grupos de Resistência.

- **NBR-09606 CB-18 1986 MB-02519**

Concreto - Determinação da Consistência pelo Espalhamento do Tronco de Cone.

- **NBR-09833 CB-18 1987 MB-02673**

Concreto Fresco - Determinação da Massa Específica e do Teor de Ar pelo Método Gravimétrico.

- **NBR-10342 CB-18 1987 MB-02771**  
Concreto Fresco - Perda de Abatimento.
- **NBR-10786 CB-18 1989 MB-03057**  
Concreto Endurecido - Determinação do Coeficiente de Permeabilidade à Água.
- **NBR-10787 CB-18 1988 MB-02948**  
Concreto Endurecido - Determinação da Penetração de Água sob Pressão.
- **NBR-12654 CB-18 1992 NB-01417**  
Controle Tecnológico de Materiais Componentes do Concreto.
- **NBR-12655 CB-18 1992 NB-01418**  
Preparo, Controle e Recebimento de Concreto - Procedimento.
- **NBR-12815 CB-18 1994**  
Concreto Endurecido - Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear - Método de Ensaio.
- **NBR-12816 CB-18 1994**  
Concreto Endurecido - Determinação da Capacidade de Deformação de Concreto Submetido à Tração na Flexão - Método de Ensaio.
- **NBR-12818 CB-18 1994**  
Concreto - Determinação na Difusidade Térmica - Método de Ensaio.
- **NBR-12819 CB-18 1994**  
Concreto e Argamassa - Determinação da Elevação Adiabática da Temperatura - Método de Ensaio.
- **NBR-12820 CB-18 1994**  
Concreto - Endurecido - Determinação da Condutibilidade Térmica - Método de Ensaio.
- **NBR-12821 CB-18 1994**  
Preparação de Concreto em Laboratório - Procedimento.

- **NBR-13044 CB-18 1994**

Concreto Projetado - Reconstituição da Mistura Recém Projetada - Método de Ensaio.

- **NBR-13069 CB-18 1994**

Concreto Projetado - Determinação dos Termos de Pega em Pasta de Cimento Portland, com ou sem a Utilização de Aditivo Acelerador de Pega - Método de Ensaio.