



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCAS ESTEVÃO REBOUÇAS

**ESTUDO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO EM UMA
FUNDAÇÃO DE AEROGERADOR EM ICAPUÍ-CE**

MOSSORÓ

2022

LUCAS ESTEVÃO REBOUÇAS

**ESTUDO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO EM UMA
FUNDAÇÃO DE AEROGERADOR EM ICAPUÍ-CE**

Monografia apresentada à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Marília Pereira de
Oliveira, Prof. Dra.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R292e Rebouças, Lucas Estevão.
ESTUDO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO EM
UMA FUNDAÇÃO DEAEROGERADOR EM ICAPUI-CE / Lucas
Estevão Rebouças. - 2022.
65 f. : il.

Orientador: Marília Pereira de Oliveira Pereira
de Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. Parque eólico. 2. Manifestações patológicas.
3. Calor de hidratação. I. Pereira de Oliveira,
Marília Pereira de Oliveira, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ESTUDO DO CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO EM UMA OBRA DE UM PARQUE EÓLICO EM ICAPUÍ-CE

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 13 / 06 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Marília Pereira de Oliveira, Prof. Dra. (UFERSA)
Presidente

Francisco Alves da
Silva Júnior

Assinado de forma digital por
Francisco Alves da Silva Júnior
Dados: 2022.06.20 18:01:04 -03'00'

Francisco Alves da Silva Junior, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Marineide Jussara Diniz, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo, a Deus, pelo dom da vida, por ser a razão da minha existência, pelo pão de cada dia e por tomar conta de mim e da minha família ao longo dessa jornada. Mesmo em momentos de aflição, proveu o que fosse necessário para ser possível essa conquista. A Ele, toda honra, glória e majestade para todo o sempre. Amém!

A todos os meus familiares. Em especial, aos meus pais, José Roberto Junior Rebouças e Elisângela Cabral Estevão Rebouças, que sempre me ajudaram e me incentivaram a estudar, fazendo o possível e o impossível diante das dificuldades para eu ter uma boa educação, e conquistasse meus objetivos. A minha irmã, Ludhymilla Estevão Rebouças, que sempre esteve comigo em todos os momentos. Eu amo vocês!

Á minha futura esposa, Stefanny Rebouças de Oliveira, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis, fazendo com que eu nunca perdesse a fé em mim mesmo, me incentivando sempre a ser uma pessoa melhor. Te amo!

Aos meus amigos do “Busão”, os quais tive o prazer, de conhecer nessa longa jornada, e pude compartilhar momentos incríveis em nossas idas e vindas a universidade. Ademais, sou grato, aos meus amigos de infância e de faculdade, que sempre me ajudaram quando tive dificuldade, me apoiando e por muitas vezes, sendo os meus professores. Levarei vocês para a vida!

A todos os professores da minha vida, que de alguma forma, me ajudaram a ser quem sou hoje. Em particular, a Dra. Marília Pereira de Oliveira, que foi minha professora desde o início da graduação, tornando-se minha orientadora em CeT, e agora, em engenharia civil. Obrigada, por toda sua dedicação e empenho, para realização desse trabalho.

Aos meus amigos da Afaplan, os quais me ensinaram muito, não só profissionalmente, mas também, como ser humano. Sou grato a toda a equipe, que sempre se dispôs a me ajudar com a faculdade, me liberando quando necessário, para dedicação nas disciplinas.

A todos que de alguma forma contribuíram na minha formação, sejam amigos, colegas e familiares. Meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

O concreto é o segundo material de construção mais utilizados no mundo, ficando atrás apenas da água. Na área de fontes de energia, o concreto é utilizado para fabricação de grandes estruturas como por exemplo as hidrelétricas, usinas nucleares e nas fundações e torres de aerogeradores. Nesse sentido, há o surgimento da necessidade de novas técnicas construtivas e de preparo do concreto, seguido de um intenso e importante controle de qualidade. Sendo assim, este trabalho destacou a importância do controle tecnológico do concreto para fins estruturais, com ênfase na execução de fundações de aerogeradores, como ferramenta de padronização capaz de garantir ao cliente os requisitos básicos e imprescindíveis para uma obra em concreto armado, como a conformidade com projeto, durabilidade, segurança e qualidade do produto final. Nesse sentido, foi realizada uma revisão literária sobre as principais causas que impulsionam o comportamento térmico no concreto e possíveis patologias oriundas da má execução e falta do controle tecnológico. Além de destacar os principais processos e equipamentos a serem utilizados no controle tecnológico do concreto, e suas principais propriedades, o calor de hidratação junto aos fatores e métodos preventivos. Após revisão bibliográfica, foi realizado um estudo de caso em uma obra de fundações de um parque eólico em Icapuí/CE, observando os métodos utilizados no controle tecnológico do concreto e controle de hidratação do concreto. Os métodos utilizados corresponderam de maneira eficaz e mostram um resultado satisfatório, mantendo a temperatura do concreto abaixo do limite estabelecido no estudo térmico do concreto e seguindo os requisitos estabelecidos na NBR ABNT 12655:15.

Palavras-chave: Parque eólico, manifestações patológicas, Calor de hidratação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico da temperatura de centro da peça de concreto em função do tempo.	15
Figura 2 - Dia de maior temperatura no interior do bloco de concreto.	15
Figura 3 - Desenvolvimento de temperatura em concretos com diferentes consumos de cimento.	17
Figura 4 - Gráfico da temperatura em função do tempo em dias, em misturas com diferentes tipos de cimento.	19
Figura 5 - Relação entre espessura de camadas de concretagem e temperatura máxima adquirida pela estrutura.	21
Figura 6 - Influência das temperaturas dos materiais na temperatura do concreto fresco....	23
Figura 7 - Paralelo entre resistência real e potencial.	27
Figura 8 - Tração direta.	28
Figura 9 – Tração direta.	28
Figura 10 - Compressão diametral;	29
Figura 11 - Módulo de elasticidade ou de deformação longitudinal.	30
Figura 12 - Módulo de deformação tangente inicial, Eci.	30
Figura 13 - Exemplo de fissura por retração.	32
Figura 14 - Desagregação do concreto.	34
Figura 15 - Segregação do concreto em aduelas.	35
Figura 16 - Célula de corrosão no meio concreto armado.	36
Figura 17 - Localização do complexo eólico em relação à Fortaleza/CE	39
Figura 18 - Seção do bloco de fundação.	40
Figura 19 - Planta baixa das estacas de fundação.	41
Figura 20 - Fôrma e armação do bloco de fundação.	42
Figura 21 - Central de concreto.	45
Figura 22 - Pesagem do gelo antes do lançamento.	46
Figura 23 - Lançamento do gelo no concreto.	47
Figura 24 - Brita úmida.	48
Figura 25 - Teste de abatimento do tronco de cone.	49
Figura 26 - Aferição da temperatura do concreto antes do lançamento.	50
Figura 27 - Execução de concretagem da base.	51
Figura 28 - Rastreabilidade do concreto por camada.	52
Figura 29 - Moldagem dos corpos de prova.	53
Figura 30 - Croqui de instalação dos termopares.	54
Figura 31 - Leitura de temperatura no data Logger.	54
Figura 32 - Cura úmida do bloco de fundação.	56
Figura 33 - Nicho de concretagem.	57
Figura 34 - Nicho de concretagem.	57
Figura 35 - Fissuras originadas pelo calor de hidratação.	58
Figura 36 - Trinca originada pelo calor de hidratação.	58
Figura 37 - Abertura e limpeza das fissuras.	59
Figura 38 - Abertura para reparo de nichos de concretagem.	59
Figura 39 - Aplicação de cola epóxi.	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultado de ensaio de perda de abatimento.	49
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores para a formação de lotes de concreto.....	25
Tabela 2 - Classe de consistência do concreto.	26
Tabela 3 - Traço em massa para produzir 1 m ³ de concreto.....	46
Tabela 4 - Controle de temperatura durante processo de cura.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	GERAL	13
2.2	ESPECÍFICOS	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO	14
3.2	FATORES QUE INFLUENCIAM NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO CONCRETO.....	16
3.2.1	Temperatura Ambiente	16
3.2.2	Consumo de Cimento	16
3.2.3	Exposição ao Sol	18
3.2.4	Processo de Cura	18
3.2.5	Temperatura de Lançamento.....	18
3.2.6	Tipos de Cimento.....	19
3.2.7	Formas e Dimensões envolvidas.....	20
3.3	MÉTODOS PREVENTIVOS DE CONTROLE DO CALOR DE HIDRATAÇÃO.....	20
3.3.1	Camadas de Concretagem	20
3.3.2	Refrigeração do Concreto Fresco	21
3.3.3	Pré-Refrigeração do Concreto com Gelo em Escamas	22
3.3.4	Pré-Refrigeração do Concreto com Água Gelada	22
3.3.5	Pré-refrigeração dos agregados através de aspersão de água gelada.....	23
3.3.6	Pós-Resfriamento do concreto.....	24
3.4	CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO	24
3.4.1	Formação de Lotes, Amostragem e Tipo de Controle	24
3.4.2	Principais propriedades avaliativas no controle e recebimento.....	26
3.4.2.1	Consistência.....	26
3.4.2.2	Resistência à compressão	27
3.4.2.3	Resistência à tração	28
3.4.2.4	Módulo de elasticidade.....	29
3.5	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ...	31

3.5.1	Fissuras.....	32
3.5.2	Desagregação	33
3.5.3	Segregação.....	34
3.5.4	Corrosão da armadura	35
4	ESTUDO DE CASO.....	38
4.1	OBJETIVO DO ESTUDO DE CASO	39
4.2	CARACTERÍSTICAS DO BLOCO DE FUNDAÇÃO.....	40
4.2.1	Geometria do bloco de coroamento	40
4.2.2	Características do concreto	42
4.3	DETALHES DA CONCRETAGEM.....	43
4.3.1	Duração da concretagem e temperatura de lançamento	43
4.3.2	Medidas adotadas pela construtora para controle do calor de hidratação.....	43
5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	45
5.1	PRODUÇÃO DO CONCRETO.....	45
5.1.1	Utilização de gelo em escamas.....	45
5.1.2	Pré-Refrigeração do agregado graúdo	47
5.2	CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO.....	48
5.2.1	Ensaio no recebimento do concreto.....	48
5.2.2	Lançamento do concreto.....	51
5.2.3	Processo de cura	53
5.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
7	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O setor de energia eólica no Brasil vem tendo um crescimento considerável nos últimos anos, sendo a segunda maior fonte de energia elétrica em capacidade instalada no Brasil. Em dias de recorde de geração de energia, podem atender até 20% da necessidade do consumo do país. Para o ano de 2022, a ABEE- Associação Brasileira de Energia Eólica, estima investimento de R\$ 30 bilhões para implantação de parques eólicos.

Em 2009 quando a captação de ventos para geração de energia começou a ganhar espaço no mercado brasileiro, a maioria das torres eram estruturas moldadas de aço. Porém, buscando diminuir os custos e facilitar a fabricação, foi observado que o uso das torres em concreto apresentava mais vantagens, como menor tempo de execução, ausência de oxidação, melhor comportamento dinâmico, além de permitir a construção de torres mais altas.

Em meio ao crescimento constante e alto investimento nesse seguimento, a demanda nas fábricas para fabricação de torres de concreto e execução das fundações nos parques aumentaram exponencialmente.

O concreto é o segundo material de construção mais empregado no mundo, perdendo apenas para a água. É composto de cimento Portland, que é resultado da transformação de matérias primas naturais como calcário e argila, em elevada temperatura, obtendo-se compostos que, após sofrerem hidratação, apresentam resistência mecânica e boa estabilidade frente à ação da água (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Porém, os cuidados que devem ter para a garantia da qualidade e durabilidade do concreto estão cada vez mais importantes. A aplicação do controle tecnológico durante as concretagens em diferentes seguimentos torna-se imprescindível pra mitigar possíveis patologias no concreto.

Um desses problemas é o controle do alto calor de hidratação do concreto em estruturas de grande dimensão. O processo de hidratação do cimento é um processo químico exotérmico, ou seja, libera calor enquanto a reação ocorre. Parte deste calor liberado é absorvido pelo próprio concreto, elevando assim a temperatura da mistura.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o conhecimento da quantidade de calor liberado é importante, porque o calor é algumas vezes favorável e outras vezes desfavorável. O concreto gera calor após o início da hidratação do cimento e, nas primeiras idades, apresenta um módulo de elasticidade baixo e há o início de ganho de resistência, momento em que ele está aumentando a temperatura.

Em função da geometria e grande volume do concreto, as bases podem ser consideradas “estruturas massivas”, onde devido ao calor de hidratação do cimento poderá levar ao aparecimento de fissuras de origem térmicas. Com isso, torna-se cada vez mais imprescindível o acompanhamento do controle tecnológico do concreto e calor de hidratação para garantir a vida útil da estrutura.

No decorrer da execução das fundações das torres eólicas, o controle tecnológico do concreto é uma das mais importantes etapas durante a construção, pois o custo de manutenção da base de um aerogerador é muito alto para o empreendedor. Então, garantir uma execução com qualidade é imprescindível e quando isso não ocorre, podem surgir patologias leves até pesadas, que demandarão grandes investimentos para reparar.

No presente trabalho será realizado um levantamento da literatura visando a compreensão das condutas relativas ao controle no recebimento do concreto dosado em central em obra, afirmadas em norma, além de um estudo de caso em obras de fundações de um parque eólico localizado no município de Icapuí/CE.

O estudo de caso complementa a revisão da literatura, mostrando na prática o que é feito nas obras locais para combater as fissuras por calor de hidratação em estruturas convencionais da construção civil (no caso, um bloco de fundação), e comparar com o que foi abordado na teoria estudada.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar os principais métodos de controle tecnológico do concreto de acordo com a norma ABNT NBR 12655:2015, além de abordar a importância do controle do calor de hidratação em uma obra de fundações de um parque eólico no município de Icapuí/CE.

2.2 ESPECÍFICOS

- Acompanhar a obra, com foco na implantação de controles tecnológicos do concreto para fins de conformidade e não conformidade do mesmo.
- Analisar de forma discursiva sobre possíveis falhas no controle tecnológico e a eficácia de ações em relação à rastreabilidade e em relação às tratativas após o registro de não conformidades.
- Acompanhar e coletar informação das etapas de execução das fundações, assim como as técnicas utilizadas para controle do calor de hidratação e cura do concreto, a fim de garantir padrões estabelecidos pelo projeto.
- Detectar as possíveis patologias associadas à má execução ou não conformidade do concreto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CALOR DE HIDRATAÇÃO DO CONCRETO

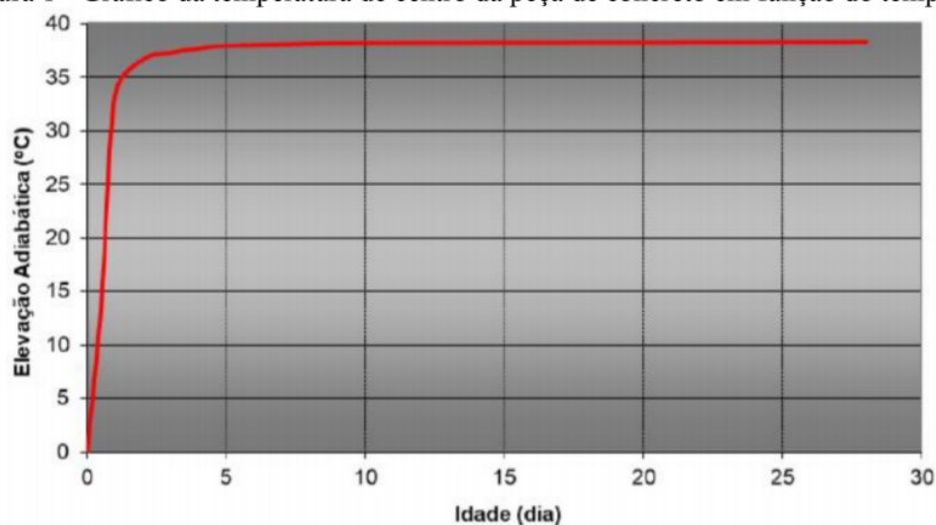
O concreto é um dos materiais mais empregados na construção civil por suas propriedades únicas de trabalhabilidade em estado fresco e resistência no estado endurecido. É um material complexo composto por cimento, água, agregados (grãos e miúdos) e aditivos que são misturados dando origem ao material fluido em primeiro momento e extremamente resistente após alguns dias. Para garantir as características do material emprega-se o controle tecnológico. (NEVILLE, 2016).

Quanto ao calor de hidratação Neville (2016) explicou que, consiste no calor das reações de hidratação e no calor da absorção de água na superfície do gel formado pelo processo de hidratação. A velocidade de hidratação inicial de cada composto é proporcional à área específica do cimento, ou seja, quanto maior a área específica de um composto maior será a sua velocidade de hidratação.

O significado do calor de hidratação do cimento em tecnologia do concreto é diversificado. O calor de hidratação pode muitas vezes ser um problema, por exemplo, em estruturas de concreto massa, e outras vezes um auxílio, como em concretagem durante o inverno quando a temperatura ambiente pode ser muito baixa para fornecer energia de ativação para as reações de hidratação (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A figura 1 mostra a variação de temperatura interna da estrutura de concreto em relação ao tempo, ou seja, com o decorrer das reações químicas entre água e cimento em relação ao tempo. A figura 1 foi retirada de estudo térmico do concreto que foi realizado para outra obra de fundações de aerogeradores.

Figura 1 - Gráfico da temperatura de centro da peça de concreto em função do tempo.

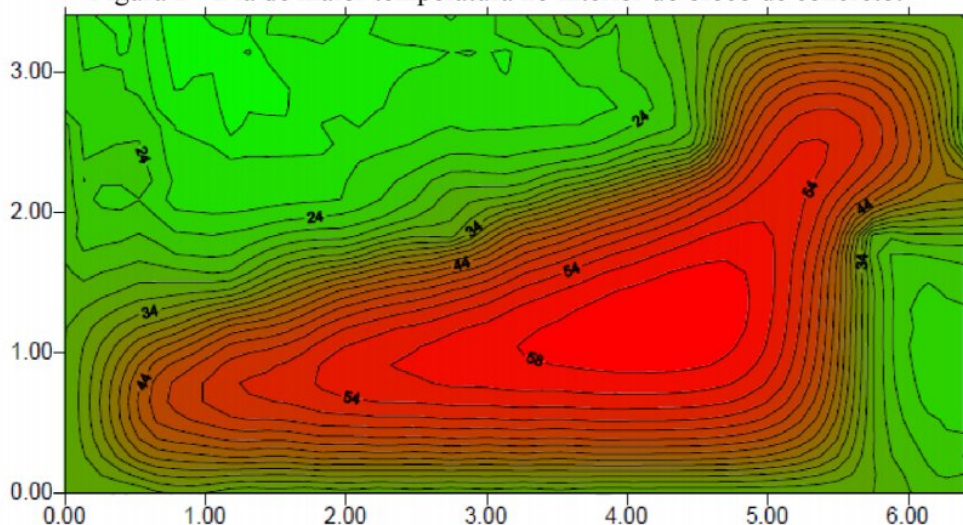


Fonte: Estudo térmico (2021).

Como podemos analisar através do gráfico apresentado na Figura 1, a peça de concreto apresentou uma variação de 0°C a quase 38°C em cerca de 3 a 4 dias. Assim que as reações internas acabam, a tendência é que a temperatura do concreto se estabilize com o ambiente. Porém, o aumento de temperatura já pode ter resultado fissurações e trincas internas na estrutura.

A figura 2 é referente ao mesmo bloco de concreto apresentada acima, e revela os valores de temperatura em diferentes pontos da sua seção transversal por meio com dissipação bi-dimensional da temperatura obtidas através de um programa computacional.

Figura 2 - Dia de maior temperatura no interior do bloco de concreto.



Fonte: Estudo térmico (2021).

3.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO CONCRETO

Em virtude da complexidade do material e inúmeras reações químicas, o processo de hidratação do cimento no concreto é bastante complexo e sofre influência de diversos fatores, que podem vir a acarretar problemas.

Alguns desses problemas podem vir a surgir da influência da temperatura ambiente, tipo e consumo do cimento, exposição ao sol, processo de cura e temperatura de lançamento.

3.2.1 Temperatura Ambiente

Os efeitos de temperatura do concreto podem surgir tanto internamente como externamente. Do ponto de vista externo, as condições climáticas como calor e frio, juntamente com a baixa umidade relativa do ar e ações do vento, podem acarretar ou até potencializar os problemas no concreto.

No caso de dias muito quentes (acima de 35 °C), o que ocorre é que o calor de hidratação é muito elevado, o que acaba aumentando a evaporação da água, retraindo o concreto e, conseqüentemente, gerando algumas fissuras no mesmo. Já os dias mais frios (abaixo de 15 °C) garantem um baixo calor de hidratação, o que retarda o endurecimento e diminui a resistência inicial (SILVA; BATTAGIN, 2011).

3.2.2 Consumo de Cimento

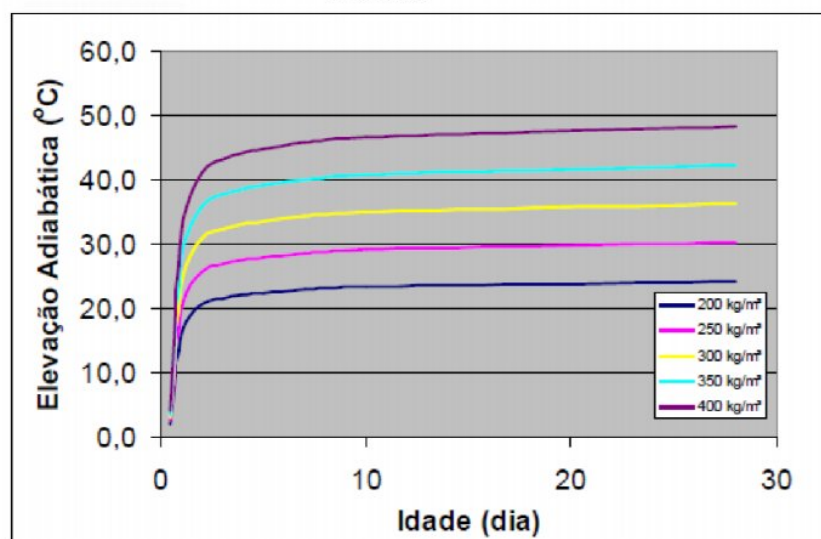
O cimento é o responsável pela reação exotérmica que ocorre no concreto. Portanto, concretos que necessitem de alto consumo para desempenhar a função de que foram solicitados, como é o caso dos concretos de alto desempenho e concretos auto adensáveis, estão sujeitos a maiores problemas advindos ao calor de hidratação.

Para evitar problemas ocorridos pelo alto calor de hidratação, existem alguns meios de reduzir a temperatura do concreto como a escolha o tipo de cimento, a adição de pozolana de argila calcinada, uso de agregados resfriados, uso de água em forma de gelo ou circulação de água fria no interior do volume do concreto lançado (GAMBALE, 2017).

Porém, algumas dessas ações podem ter um custo financeiro relativamente alto ou depender de equipamentos e materiais não disponíveis no local, portanto uma das opções mais viáveis é a redução ao máximo do calor gerado através da redução das reações de hidratação, ou seja, reduzir o consumo de cimento desde que não haja alteração nas características físicas do concreto (REBMANN, 2011).

A Figura 3 ilustra o quanto a diferença de calor é influente, conforme aumenta-se a quantidade de cimento na mistura, aumenta-se também a temperatura adiabática de acordo com os dias.

Figura 3 - Desenvolvimento de temperatura em concretos com diferentes consumos de cimento.



Fonte: Gambale (2009).

Nota-se que, à medida que se aumenta a quantidade de cimento na mistura, ocorre uma maior elevação adiabática de temperatura no concreto, fator inerente ao surgimento das tensões térmicas.

3.2.3 Exposição ao Sol

Quando exposto ao sol o concreto absorve calor externo, que somado às reações exotérmicas internas tende a aumentar consideravelmente a temperatura do concreto.

CARNEIRO Et. al (2011) explica que mesmo o calor de hidratação sendo calculado e controlado, esse aumento de temperatura gerado pela exposição sol pode afetar a estrutura de forma indesejada, podendo gerar retração e possíveis fissuras na peça.

Com isso, as concretagens em dias muito quentes e que estejam expostas aos raios solares devem utilizar técnicas que permitam a presença da água até o processo final de hidratação.

3.2.4 Processo de Cura

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a cura tem por objetivo impedir a perda precoce de umidade e controlar a temperatura do concreto durante um período suficiente para que se alcance um nível de resistência desejado. A proteção contra a secagem prematura poderá ser feita mantendo-se umedecida a superfície ou a protegendo com uma película impermeável pelo menos, pelos primeiros 7 dias ou por tantos dias quanto a natureza do cimento exigir.

3.2.5 Temperatura de Lançamento

É extremamente importante obter o controle da temperatura de lançamento do concreto, pois quanto maior está temperatura maior será a temperatura máxima que o concreto irá atingir. O controle da temperatura de lançamento, seguramente é uma das melhores maneiras de evitar fissuras térmicas nas estruturas de concreto.

O método mais comumente usados é o pré-resfriamento do concreto fresco que consiste em resfriar os agregados e utilizar escamas de gelo para obter o concreto massa com a temperatura de lançamento baixa (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

3.2.6 Tipos de Cimento

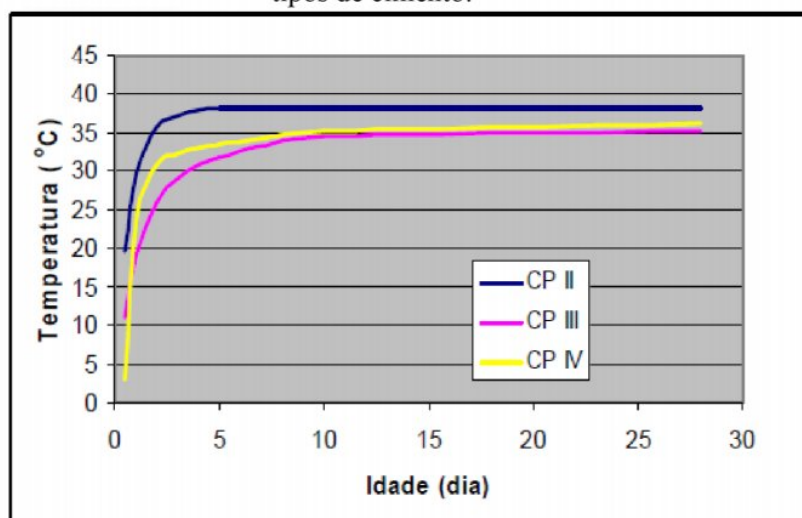
Existem vários tipos de cimentos, alguns com maior e menor calor de hidratação. O cimento Portland é obtido a partir da mistura de calcário e argila através de processos específicos, com possível adição de outras matérias-primas.

De acordo com a NBR 16697:2018, o calor de hidratação deve ser objeto de um controle estatístico, dentro da hipótese de uma distribuição gaussiana, assegurando-se que o valor seja menor ou igual a 270 J.g-1 em 41 horas de ensaio, com 97 % de probabilidade de estes limites serem atendidos, isto é, a probabilidade de os limites não serem atingidos é de 3 %.

O Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CP III-32 (BC) é o Cimento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. Este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento (CIMENTO.ORG, 2010).

A Figura 4 confirma a citação acima, onde é apresentado a temperatura de diferentes tipos de cimento em relação ao tempo de cura do concreto. É possível observar que o cimento CP III obteve melhor desempenho em relação aos demais.

Figura 4 - Gráfico da temperatura em função do tempo em dias, em misturas com diferentes tipos de cimento.



Fonte: Gambale (2009).

3.2.7 Formas e Dimensões envolvidas

Um dos fatores que influenciam a retração térmica é a geometria da estrutura. A estrutura de concreto tendo suas dimensões reduzidas terá consequentemente o calor gerado pela hidratação difundido para o ambiente e o pico térmico menor, entretanto, à medida que as dimensões aumentam, esse pico torna-se mais elevado, aumentando, consequentemente, o gradiente de queda para o equilíbrio com o ambiente e a potencialidade de fissuração, sendo que as fissuras de origem térmica geralmente originam-se a partir de camadas junto à fundação ou a partir de camadas lançadas sobre concretos antigos devido ao elevado módulo de elasticidade (ANDRIOLO; SKWARCZYNSKI, 1988; PETRONILHO; SIGOLO, 2011).

3.3 MÉTODOS PREVENTIVOS DE CONTROLE DO CALOR DE HIDRATAÇÃO

Diante dos diversos fatores que influenciam no calor de hidratação do concreto, existem alguns métodos que são capazes de controlar tais influencias, e assim mitigar os efeitos sofridos pelo concreto devido a sua elevação de temperatura. Tais métodos serão apresentados a seguir.

3.3.1 Camadas de Concretagem

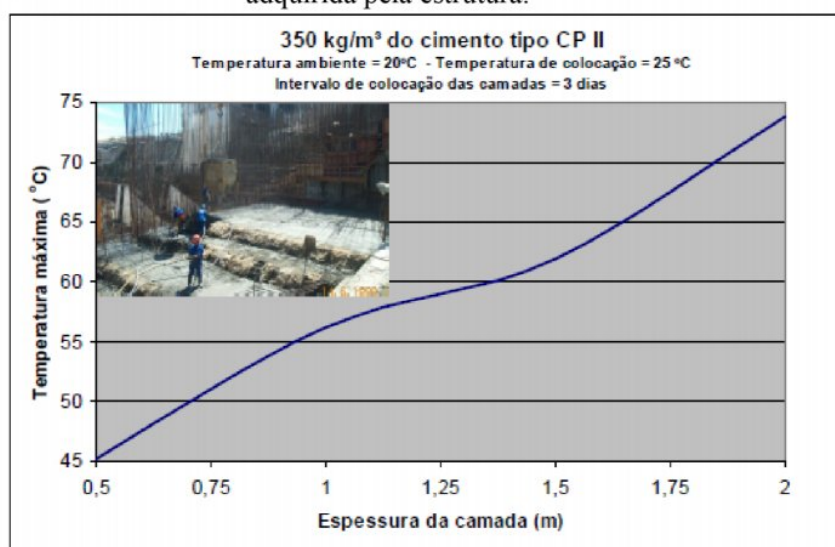
Conforme as exigências aumentam, as alturas dos componentes de concreto das fundações sofrem essa mesma ação, conseguindo atingir valores extremos e, caso não tomados os devidos cuidados, trabalham como intensificador do fenômeno de calor de hidratação.

Quanto maior a espessura da camada, no método da construção em camadas, e quanto menor o tempo do intervalo de lançamento do concreto, maior será a temperatura atingida pelo concreto, sendo que o tempo possui maior influência que a espessura da camada. Dessa

forma é recomendável uma construção em camadas e com um bom intervalo de tempo entre as construções (COELHO, 2012).

Essas camadas devem respeitar uma determinada altura, prevista em projeto, e intervalos de tempo para lançamento da outra camada. Segundo Pacelli (1981), a elevação de temperatura é menor à medida que o intervalo de concretagem aumenta, mas esse tempo só influencia até os 12 ou 15 dias, tempo o suficiente para a temperatura do concreto se estabilizar com o ambiente.

Figura 5 - Relação entre espessura de camadas de concretagem e temperatura máxima adquirida pela estrutura.



Fonte: Gambale (2009).

3.3.2 Refrigeração do Concreto Fresco

Segundo Pacelli (1981), a temperatura do concreto fresco é um dos aspectos mais importantes a serem analisados a fim de reduzir a temperatura máxima alcançada. É mais econômico, na maioria dos casos, dar preferência na diminuição da temperatura de lançamento do que executar muitas camadas de concretagem, já que para a concretagem de cada camada deve ser respeitado um tempo, o que torna menos atrativo para as construtoras.

3.3.3 Pré-Refrigeração do Concreto com Gelo em Escamas

Uma alternativa bastante eficiente para reduzir o gradiente térmico gerado pelo calor de hidratação é o pré-resfriamento do concreto, reduzindo e limitando sua temperatura de lançamento, o que contribui de forma significativa a ocorrência de trincas e fissuras de origem térmica.

A principal finalidade da utilização do gelo no concreto, é a de reduzir tensões de origem térmicas presentes no interior da peça concretada, com o objetivo de evitar sua elevação de modo que não se intensifique e não ultrapasse o limite da sua capacidade resistente, evitando o surgimento de trincas ou rachaduras que comprometem a vida útil da peça (UFRP, 2007).

3.3.4 Pré-Refrigeração do Concreto com Água Gelada

Segundo Mehta e Monteiro (2008), dentro de todos os componentes do concreto a água de amassamento tem o maior efeito na temperatura do concreto por unidade de peso. Diante disso, a utilização da água de amassamento resfriada é uma das melhores formas de reduzir a temperatura de lançamento do concreto.

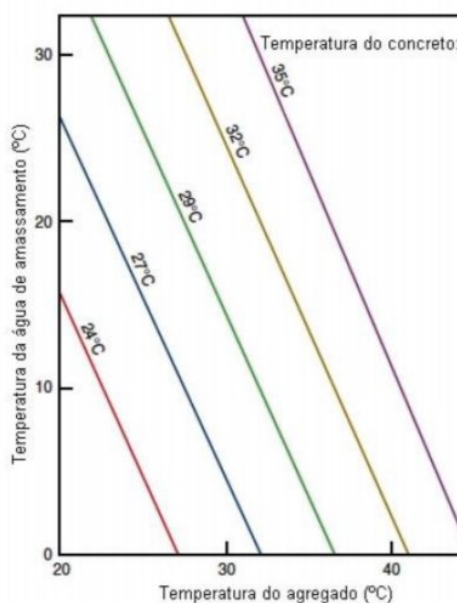
De todos os materiais a água é o mais fácil de ser resfriado. Apesar de ser utilizada em quantidades menores que as dos outros materiais, a água gelada produzirá uma redução moderada na temperatura do concreto. A água pode ser resfriada por nitrogênio líquido ou gelo. Devido ao fato de ser o material em menor quantidade, é difícil reduzir a temperatura do concreto mais que 4,5°C apenas com a água gelada. A água gelada deve ficar reservada em tanques fora da incidência solar sendo interessantes que estes tanques e o sistema por onde a água irá correr estejam enterrados, isolados, em locais sombreados ou pintados de branco para manter a água o mais resfriado possível (ACI Committee 305, 2013).

3.3.5 Pré-refrigeração dos agregados através de aspersão de água gelada

Resfriar os materiais do concreto é o método mais usado para reduzir a temperatura de mistura fresca. Um ou mais materiais podem ser resfriados. Para condições de elevadas temperaturas, os agregados e a água de amassamento devem ser mantidos o mais frio possível, pois estes são os materiais com maior influência na temperatura do concreto (KOSMATKA; KERKHOFF; PANARESE, 2003).

A figura 6 mostra graficamente a influência da temperatura dos materiais na temperatura do concreto fresco. É notório observar que a temperatura do concreto depende primeiro da temperatura do agregado.

Figura 6 - Influência das temperaturas dos materiais na temperatura do concreto fresco.



Fonte: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese (2003).

Além das condições já citadas, para o agregado graúdo é permitido que seja efetuada irrigação controlada mantendo-o no estado de saturado com superfície seca. Este processo reduz sua temperatura causando resfriamento direto através da evaporação da água (ACI Committee 305, 2013).

3.3.6 Pós-Resfriamento do concreto

O pós-resfriamento é uma técnica bem difundida a fim de evitar a fissuração do concreto de barragens, ou seja, é um método que consiste em inserir tubos de refrigeração na estrutura, com o objetivo de diminuir a temperatura interna do concreto. Este método, embora eficaz, possui alto custo inicial e operacional, porém apresenta resultados positivos, no que se refere à redução da temperatura, durante o processo de hidratação. É importante salientar que, utilizando-se o pré-resfriamento de forma eficiente para a realização da concretagem, pode-se considerar o pós-resfriamento como uma medida somente complementar e facultativa (SALUM, 2016).

A circulação de água fria através de tubos de refrigeração (serpentina), com paredes finas e espaçamento variado, mergulhados no concreto, serve para colocar um limite na temperatura máxima. Além de inserir os tubos no interior da peça de concreto, deve-se observar todo o sistema de bombeamento que executará a função de circular a água no concreto (SOUZA; SILVA; CASTRO, 2014).

3.4 CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

O controle tecnológico do concreto é utilizado para garantir os requisitos de qualidade mínimos para assegurar os atendimentos das demandas do projeto nas diferentes etapas de construção em que ocorrerá a utilização do concreto. Esse controle visa agregar confiabilidade e segurança ao empreendimento.

3.4.1 Formação de Lotes, Amostragem e Tipo de Controle

De acordo com o item 6.2.1 da norma ABNT NBR 12655:2015, a amostragem do concreto para ensaios de resistência à compressão deve ser feita dividindo-se a estrutura em lotes que atendam a todos os limites da Tabela 1. De cada lote deve ser retirada uma amostra,

com número de exemplares de acordo com o tipo de controle executado pela empresa responsável pela obra.

Tabela 1 - Valores para a formação de lotes de concreto.

Identificação (o mais exigente para cada caso)	Solicitação Principal dos elementos das estruturas	
	Compressão ou compressão e Flexão	Flexão simples ^b
Volume de Concreto	50 m ³	100 m ³
Número de Andares	1	1
Tempo de Concretagem	Três dias de concretagem	

^a No caso de controle para amostragem total, cada betonada deve ser considerado um lote, conforme 6.3.2.1

^b No caso de complemento de pilar, o concreto faz parte do volume do lote de lajes e vigas

^c Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que incluem eventuais interrupções para tratamento de juntas.

Fonte: ABNT NBR 12655 (2015).

A norma NBR 12655:2015 no item 6.2.3, determina que há dois tipos de controle de resistência: o controle estatístico do concreto por amostragem parcial e o controle de concreto por amostragem total. Para o controle por amostragem parcial é prevista uma forma de cálculo do valor estimado da resistência característica, $f_{ck,est}$, do lote de concreto em estudo. Para o controle por amostragem total a 100 % das betonadas, a análise da conformidade deve ser realizada em cada betonada.

Conforme a NM 33, as amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem. Cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada, conforme a ABNT NBR 5738:2015, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão. Ainda de acordo com a norma acima citada, a coleta das amostras deve ser realizada durante a descarga, após o lançamento dos primeiros 15% e antes de completar a descarga de 85% do volume total da betonada.

3.4.2 Principais propriedades avaliativas no controle e recebimento

3.4.2.1 Consistência

A primeira propriedade do concreto fresco que deve ser considerada é a sua consistência. Consistência corresponde à maior ou menor capacidade que o concreto fresco tem de se deformar e está relacionada ao processo de transporte, lançamento e adensamento do concreto, variando, em geral, com a quantidade de água empregada, granulometria dos agregados e pela presença de produtos químicos específicos (CARVALHO E FILHO, 2016).

Ainda segundo Carvalho e Filho (2016), uma das formas de medir a consistência do concreto é através do abaixamento que uma quantidade predominada de massa, colocada em um molde metálico normalizado de forma tronco cônica, terá quando o molde for retirado. A medida da deformação vertical é chamada de abatimento ou *slump*. A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone é regulamentada pela ABNT NBR NM 67:1998.

A ABNT NBR 7212:2012, no item 5.1.5, apresenta a classe de consistência do concreto de acordo com seu abatimento, conforme a tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Classe de consistência do concreto.

Classe	Abatimento (A) mm
S10	$10 \leq A < 50$
S50	$50 \leq A < 100$
S100	$100 \leq A < 160$
S160	$160 \leq A < 220$
S220	$A \geq 220$

Fonte: ABNT NBR 7212 (2012).

3.4.2.2 Resistência à compressão

A principal característica do concreto é sua resistência a compressão, a qual é determinada pelo ensaio de corpos de prova submetidos a compressão centrada. Mas independentemente do tipo de ensaio ou de solicitação, diversos fatores influenciam a resistência do concreto endurecido, dos quais os principais são a relação entre as quantidades de cimento, agregados e água (traço), a idade do concreto (CARVALHO E FILHO, 2016).

Ainda segundo Carvalho e Filho (2016), a resistência a compressão, obtida pelo curto ensaio do rompimento do corpo de prova, é dado pela Equação 1, a seguir.

$$f_{cj} = \frac{N_{RUP}}{A}$$

Em que,

f_{cj} – É a resistência à compressão do corpo de prova de concreto na idade de (j) dias;

N_{RUP} – Carga de ruptura do corpo de prova; e

A – É a área de seção transversal do corpo de prova.

Vários são os fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto da estrutura, desde a heterogeneidade e proporção dos materiais até o transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto na obra. No entanto, a resistência à compressão do concreto, de controle e de referência, restringe-se à resistência potencial do concreto, medida na “boca” da betoneira conforme indicado na Figura 7 (PACHECO E HELENE, 2013).

Figura 7 - Paralelo entre resistência real e potencial.



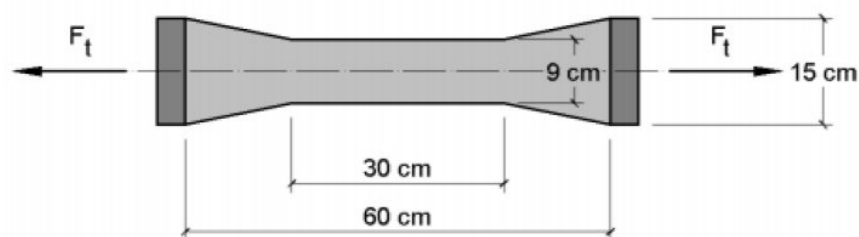
Fonte: Pacheco e Helene (2013).

3.4.2.3 Resistência à tração

Segundo Carvalho e Filho (2016), como o concreto é um material que resiste mal a tração, geralmente não se conta com a ajuda dessa resistência. Entretanto, a resistência à tração pode estar relacionada com a capacidade resistente da peça, como as sujeitas a esforço cortante, e, diretamente, com a fissuração, sendo necessário, por isso, conhecê-la. Existem três tipos de ensaio para se obter a resistência à tração: por flexotração, compressão diametral (tração indireta) e tração direta.

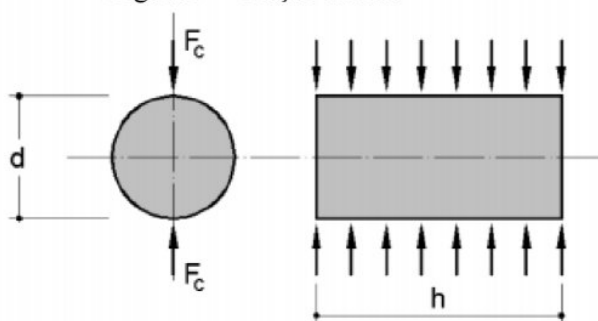
Dependendo do método utilizado, são obtidos resultados distintos, isso ocorre, pois, as tensões de tração distribuem-se de maneira diferente em cada método (PINHEIRO e GIONGO, 1986). As Figuras 8, 9 e 10 ilustram esses métodos.

Figura 8 - Tração direta.



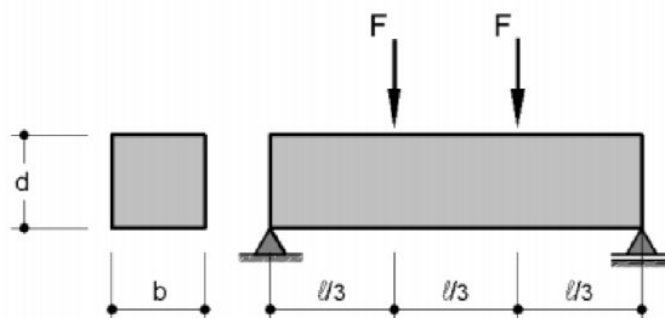
Fonte: Pinheiro e Geiongo (1986).

Figura 9 – Tração direta.



Fonte: Pinheiro e Geiongo (1986).

Figura 10 - Compressão diametral;



Fonte: Pinheiro e Geiongo (1986).

3.4.2.4 Módulo de elasticidade

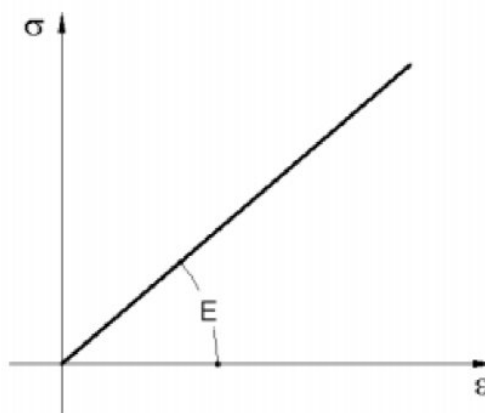
O módulo de elasticidade é definido como sendo a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado. A declividade da curva tensão-deformação é o módulo de elasticidade no concreto sob um carregamento uniaxial (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Pinheiro 2007 indica da Resistência dos Materiais que, a relação entre tensão e deformação, para determinados intervalos, pode ser considerada linear (Lei de Hooke), seguindo a equação 2, ou seja,

$$\sigma = E\varepsilon$$

Sendo σ a tensão, ε a deformação específica e E o Módulo de Elasticidade ou Módulo de Deformação Longitudinal representado pela Figura 9 e Figura 11.

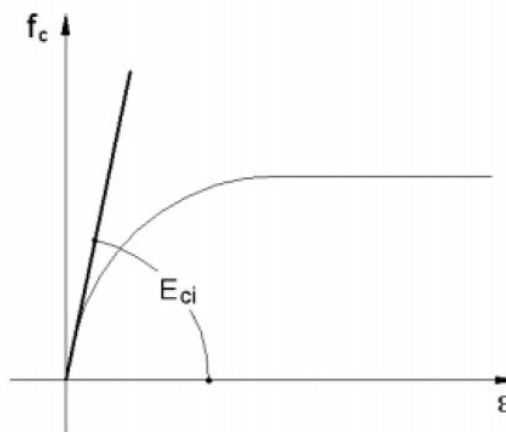
Figura 11 - Módulo de elasticidade ou de deformação longitudinal.



Fonte: Pinheiro (2007).

Para o concreto a expressão do Módulo de Elasticidade é aplicada somente à parte retilínea da curva tensão-deformação ou, quando não existir uma parte retilínea, a expressão é aplicada à tangente da curva na origem. Neste caso, tem-se o Módulo de Deformação Tangente Inicial, E_{ci} (Figura 12), (PINHEIRO, 2007).

Figura 12 - Módulo de deformação tangente inicial, E_{ci} .



Fonte: Pinheiro (2007).

Quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto, para a idade de referência de 28 dias, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade inicial usando a equação 3 (PINHEIRO, 2007).

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{\frac{1}{2}}$$

E_{ci} e f_{ck} são dados em MPa.

Ainda segundo Pinheiro 2007, o Módulo de Elasticidade Secante, E_{cs} , a ser utilizado nas análises elásticas do projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de limites de serviço, deve ser calculado pela equação 4.

$$E_{cs} = 0,85E_{ci}$$

Na avaliação do comportamento de um elemento estrutural ou de uma seção transversal, pode ser adotado um módulo de elasticidade único, à tração e à compressão, igual ao módulo de elasticidade secante (E_{cs}).

3.5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

As estruturas de concreto, quando situadas em meios de uma ou de outra forma favoráveis à sua agressão, podem ter a saúde abalada pelos mais diversos fatores. A falta de conhecimento ou de estudo prévio do local e de suas características, a falta de cuidados em detalhes construtivos, o arrojo de alguns projetos arquitetônicos e, conseqüentemente, dos seus projetos estruturais e a ausência de especificações, ou, por outro lado, a especificação incorreta dos materiais a serem utilizados, são falhas que podem, individualmente ou em conjunto, criar as condições necessárias para diminuir sensivelmente a vida útil das estruturas (SOUZA E RIPPER, 1998).

Se a todas estas deficiências forem somados os erros de execução, como métodos construtivos inadequados, mão-de-obra tecnicamente deficiente, falhas na fiscalização, etc., ter-se-á, inevitavelmente, o enfraquecimento da estrutura, com a conseqüente criação das facilidades para a atuação dos agentes deteriorantes, que levam à oxidação das armaduras e à degradação do concreto (SOUZA E RIPPER, 1998).

3.5.1 Fissuras

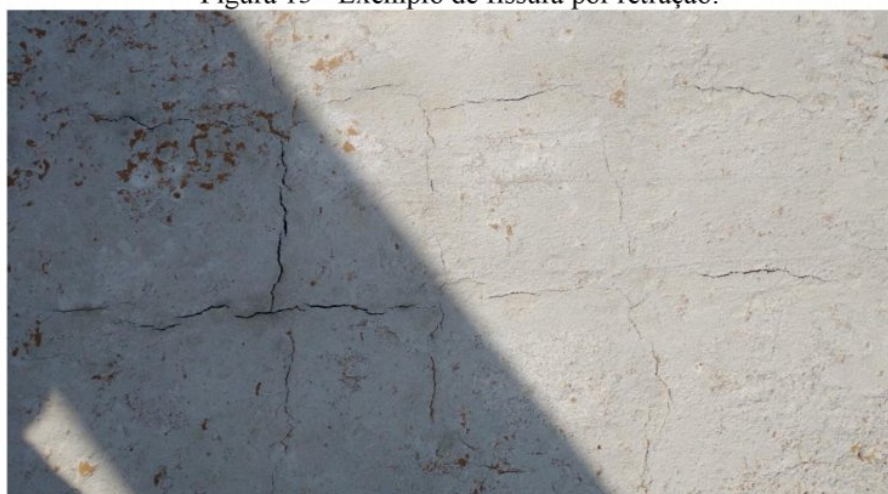
As fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum e aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está a acontecer (SOUZA e RIPPER, 1998).

Ainda segundo Souza e Ripper (1998), as causas de fissuração do concreto endurecido ou fresco são de diversas naturezas:

- Deficiência de Projeto;
- Contração Plástica;
- Perda de Aderência;
- Movimento de Escoramento e/ou Fôrmas;
- Retração;
- Deficiência de Execução;
- Reações Expansivas;
- Corrosão da Armadura;
- Recalque Diferenciais, e
- Variações de Temperatura.

A figura 13 representa fissuras em um radier causadas pela retração no concreto durante o processo de cura.

Figura 13 - Exemplo de fissura por retração.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Ao se analisar uma estrutura de concreto que esteja fissurada, os primeiros passos a serem dados consistem na elaboração do mapeamento das fissuras e em sua classificação, que vem a ser a definição da atividade ou não das mesmas (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo ABNT NBR 6118:2014, no item 13.4.2, as fissuras são consideradas agressivas quando elas possuem abertura superiores a 0,2 milímetros quando se tratam de estruturas expostas a meios agressivos fortes como áreas industriais ou em contato direto com a maré, 0,3 milímetros quando as estruturas estão em meios de agressividade mediana como áreas urbanas e 0,4 milímetros quando estão em meio de pouca agressividade como áreas rurais.

3.5.2 Desagregação

A desagregação é a perda de massa de concreto devido a um ataque químico expansivo de produtos inerentes ao concreto e/ou devido à baixa resistência do mesmo, caracterizando-se por agregados soltos ou de fácil remoção (MEHTA, 2008).

A desagregação do material é um fenômeno que frequentemente pode ser observado nas estruturas de concreto, causado pelos mais diversos fatores, ocorrendo, na maioria dos casos, em conjunto com a fissuração (SOUZA E RIPPER, 1998).

Ainda segundo Souza e Ripper (1998), deve-se entender como desagregação a própria separação física de placas ou fatias de concreto, com perda de monolitismo e, na maioria das vezes, perda também da capacidade de engrenamento entre os agregados e da função ligante do cimento. Como consequência, tem-se que uma peça com seções de concreto desagregado perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que a solicitam.

As causas da desagregação do concreto estão associadas aos seguintes fatores (SOUZA e RIPPER, 1998):

- Fissuração;
- Movimentação das Fôrmas;
- Corrosão do Concreto;
- Calcinação do Concreto (efeitos da ação do fogo no concreto, a desagregação do concreto ocorre por volta de 600°C);
- Ataques Biológicos (raízes de vegetações, micro-organismos, etc).

A figura 14 ilustra uma viga em processo de desagregação causado pela corrosão da armadura.

Figura 14 - Desagregação do concreto.



Fonte: Araldi (2013).

3.5.3 Segregação

O concreto é um produto composto por areia, pedra (brita), cimento e água, que quando preparado e lançado corretamente, transforma-se em uma mistura homogênea, onde todas as pedras estão completamente envoltas pela argamassa (areia cimento e água). Se ocorrer um erro de lançamento ou de adensamento, as pedras se separam da argamassa, formando um concreto cheio de vazios, permeável, que permite a passagem de água com facilidade (ARIBAVENE, 2015).

PIANCASTELLI (1997) traz que esse processo de separação pode ser provocado, entre outras causas, por: lançamento livre de grande altura; concentração de armadura que impede a passagem da brita; vazamento da pasta de cimento através das fôrmas; má dosagem do concreto; uso inadequado de vibradores.

A execução e lançamento do concreto deve atender os requisitos estabelecidos pela NBR 14931: 2004, que define parâmetros para evitar a segregação:

- O lançamento não pode ocorrer após o início de pega;
- Devem ser observados cuidados no lançamento quando a altura de queda livre for superior a dois metros. Neste caso devem ser usados funis, calhas ou trombas;
- O lançamento nas fôrmas deve ser feito em camadas de altura compatível com o adensamento previsto;
- O concreto deve ser lançado o mais próximo possível do local definitivo.

A figura 15 mostra uma situação de segregação causada devido a uma possível execução em desconformidade com procedimento.

Figura 15 - Segregação do concreto em aduelas.



Fonte: Autoria Própria (2022).

3.5.4 Corrosão da armadura

Segundo GENTIL (1996), de maneira geral, a corrosão poderá ser entendida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos.

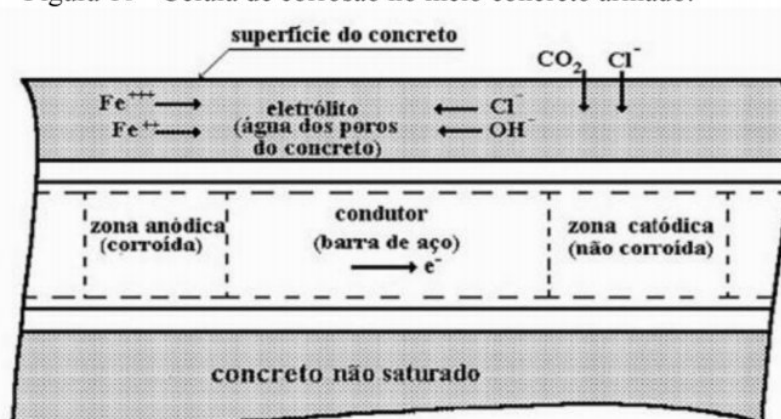
A alta alcalinidade do concreto favorece a formação de uma película de óxido estável que passiva o aço e impede a agressão das corrosões, porém, na prática, esse casamento nem sempre é harmonioso. Patologias podem acontecer quando há vulnerabilidades no conjunto, resultantes principalmente de falhas durante a execução e na especificação do concreto. Nesse sentido, um dos agentes mais agressivos às estruturas de concreto é a atmosfera marinha, onde cloretos de sódio e de magnésio estão em suspensão no ar, daí a estrutura torna-se mais susceptível à corrosão de armadura (NAKAMURA, 2008).

HELENE (1992), mostra que as causas mais comuns para ocorrer corrosão são: concreto com alta permeabilidade e/ou alta porosidade, cobrimento insuficiente das armaduras ou má execução.

Em oposição ao processo de corrosão do aço das armaduras, que é predominantemente eletroquímico, a do concreto é puramente química e ocorre por causa da reação da pasta de cimento com determinados elementos químicos, causando em alguns casos a dissolução do ligante ou a formação de compostos expansivos, que são fatores deteriorantes do concreto (SOUZA E RIPPER, 1998).

Ainda segundo SOUZA e RIPPER (1998), no caso do concreto armado, as regiões de menor concentração de O_2 são as anódicas (ver figura 12). Da combinação do cátion Fe^{++} com os ânions $(OH)^-$ resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no anodo; no catodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Estes dois produtos constituem a ferrugem, evidência mais clara da corrosão do aço.

Figura 16 - Célula de corrosão no meio concreto armado.



Fonte: Souza e Ripper (1998).

A corrosão das armaduras acontece da parte externa para a interna, como na Figura 16, resultando na substituição do aço por ferrugem, da superfície de reforço e, portanto, da capacidade de resistência da estrutura. Devido a isso ocorrem outros mecanismos de degradação, tais como: aderência entre o aço e o concreto, desintegração do concreto circundante as armaduras e fissuras, causadas pela corrosão da armadura.

Nem sempre quando há corrosão na ferragem, há fissuração. Caso o concreto sofra com bastante umidade, os óxidos serão gerados a uma velocidade constante e podem afastar-se através dos poros na massa de concreto, aparecendo na superfície sob a forma de manchas marrom-avermelhadas, não apresentando fissura. Porém, é possível a ocorrência das duas situações: fissuras com manchas corrosivas (CASCUDO, 1997).

4 ESTUDO DE CASO

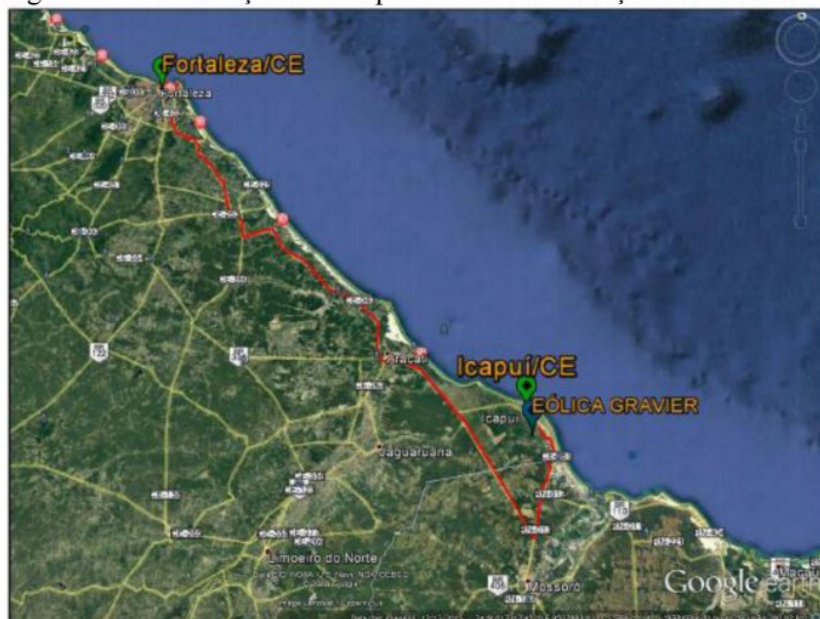
Após obter informações acerca da problemática que é o calor de hidratação do concreto, foi apresentado como ocorreu na prática a utilização dos procedimentos e conhecimentos teóricos que os responsáveis técnicos adquiriram.

É notório que os responsáveis técnicos e donos das grandes construtoras como também das usinas de concreto, estão cada vez mais preocupados com os problemas causados pelo alto calor de hidratação no concreto em grandes volumes, principalmente pelo surgimento de patologias como fissuras oriundas da retração térmica. Em virtude disso algumas medidas estão sendo utilizadas para evitar problemas desse gênero.

Nas obras de implantação de parques eólicos, as empresas responsáveis estão tomando cada vez mais prevenções para evitar ao máximo o surgimento de patologias nas estruturas de concreto armado, e assim manter a qualidade do produto.

Nesse sentido o estudo de caso foi elaborado tomando como referência as medidas que a “construtora x” adotou para mitigar os problemas durante a concretagem de 17 bases de aerogeradores que serão implantados no município de Icapuí, estado do Ceará, a uma altitude média de 30 metros acima do nível do mar. A partir da região metropolitana de Fortaleza, o acesso até a Eólica Gravier se dará pelas rodovias CE-040, BR-304, RN-013 e estrada vicinal utilizada como desvio da cidade de Tibau/RN até a rodovia estadual CE-261, onde está localizado o acesso principal ao empreendimento na mediação do km 08, conforme representado na Figura 17.

Figura 17 - Localização do complexo eólico em relação à Fortaleza/CE



Fonte: Google Earth (2022).

4.1 OBJETIVO DO ESTUDO DE CASO

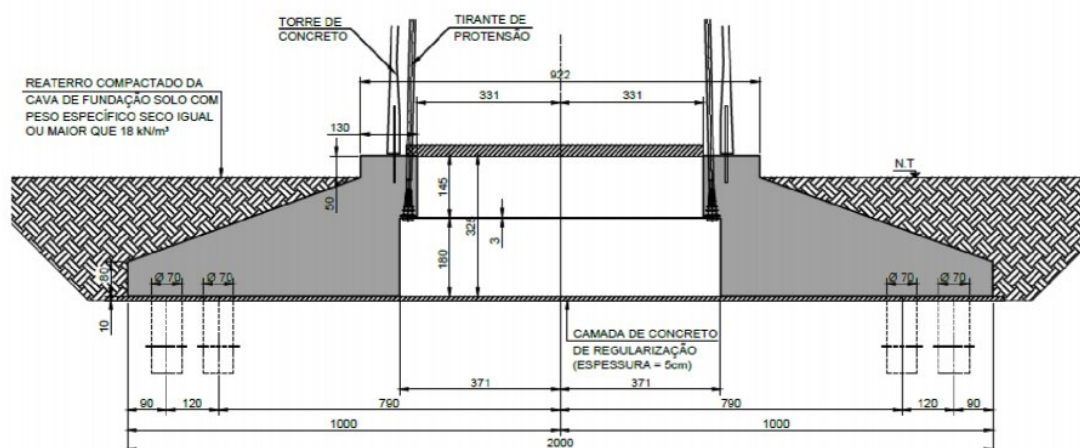
O estudo de caso realizado tem como objetivo apresentar os métodos para controle do calor de hidratação do concreto que foram utilizados para mitigar problemas de origem térmica durante o processo de cura do bloco de fundação levando em conta os cuidados iniciais da construtora, as medidas preventivas, o controle tecnológico realizado e os métodos executivos implantados. E então, fazer um comparativo com as técnicas e análises abordados no estudo feito pela revisão bibliográfica.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO BLOCO DE FUNDAÇÃO

4.2.1 Geometria do bloco de coroamento

Os blocos de coroamento são elementos estruturais de transição, os quais possuem a responsabilidade de transferirem as cargas atuantes para um conjunto de estacas. O volume final de concreto utilizado no bloco é de 485,2 m³ de concreto, além de 56 toneladas de aço CA-50. O bloco de fundação do estudo em questão tem sua geometria representada pela Figura 18.

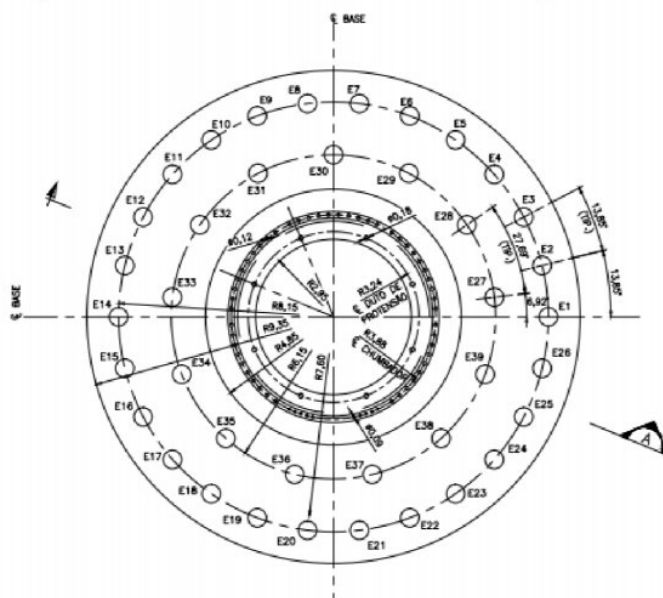
Figura 18 - Seção do bloco de fundação.



Fonte: Empresa X (2021).

O bloco da fundação é sustentado por 39 estacas com comprimentos que variam entre 15 e 19 metros, de acordo com o tipo de solo, e diâmetros de 70 centímetros. A Figura 19 representa a planta baixa das estacas de fundação que receberam a carga do bloco e do aerogerador que será posteriormente montado sobre ele.

Figura 19 - Planta baixa das estacas de fundação.



Fonte: Empresa X (2021).

Após a execução das estacas é realizado o concreto de regularização para liberação e início da montagem da fôrma e armação do bloco. A montagem de toda armação dura em média 5 dias com 20 colaboradores trabalhando. A figura 20 mostra a armação e montagem da fôrma finalizados, e liberada para concretagem.

Figura 20 - Fôrma e armação do bloco de fundação.



Fonte: Autoria Própria (2021).

4.2.2 Características do concreto

A dosagem utilizada teve um elevado consumo de cimento por se tratar de concreto bombeado, para atender resistência característica prevista em projeto de 35 Mpa. O cimento utilizado foi CP III-40 RS, agregado miúdo (areia) – 1.18 mm, agregado graúdo (brita) – 19 mm, água/gelo e o aditivo Muraplash FK 320.

As dimensões das peças a serem concretadas exigem que se controle a temperatura do concreto para diminuir o risco da fissuração de origem térmica, por se tratar de concreto massa.

Com o consumo de cimento de 364kg/m^3 a temperatura do concreto pode atingir na estrutura valores superiores a 65°C , que dependendo da temperatura de lançamento, podem atingir patamares indesejáveis que poderão causar fissuração do concreto e de risco de formação de etringita tardia.

4.3 DETALHES DA CONCRETAGEM

4.3.1 Duração da concretagem e temperatura de lançamento

A concretagem foi realizada em uma única etapa tendo uma média de duração de 12 horas. Ao todo foram lançados 61 caminhões betoneiras de 8 m³, sendo realizado em cada um deles o teste de abatimento do tronco de cone e aferição da temperatura do concreto antes do lançamento.

O abatimento indicado para o lançamento é de 140±2 mm. Já a temperatura máxima permitida para o lançamento do concreto, indicado pelo estudo térmico, é de 25 °C. Em casos onde a temperatura não respeitasse o limite estabelecido pelo projeto, e/ou o Slump não atingisse o abatimento necessário, o caminhão betoneira era orientado a retornar a central de concreto para redosagem.

4.3.2 Medidas adotadas pela construtora para controle do calor de hidratação

Em função da geometria e grande volume do concreto, as bases podem ser consideradas “estruturas massivas”, onde devido ao alto calor de hidratação do cimento poderá levar ao aparecimento de fissuras de origem térmicas, recomendando-se então na concretagem a utilização de algumas técnicas específicas para evitar ou atenuar esse efeito:

- Utilização de cimento com baixo calor de hidratação (BC);
- Resfriamento da água, através de adição de gelo em escama ou em barra, liberando-a para utilização no concreto quando a temperatura estiver em torno de 4°C a fim garantir que a temperatura de lançamento não ultrapasse 25°C.
- Umedecimento dos agregados através de aspersores ou outro método para o resfriamento, principalmente dos agregados graúdos.
- Concretagem executada em camadas;

- Verificar a temperatura do concreto endurecido, através de instalação, antes da concretagem, de três pontos distintos de termopares onde a dissipação de calor é maior.
- Cura úmida. Após o processo do endurecimento do concreto a base é coberta por uma manta geotêxtil que tem como objetivo principal reter a água nos vazios capilares, impedindo a sua evaporação.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 PRODUÇÃO DO CONCRETO

5.1.1 Utilização de gelo em escamas

O concreto utilizado para concretagem das bases foi dosado em central localizado no canteiro de obras, seguindo carta traço aprovada pelo projetista, afim de se obter um concreto com resistência característica mínima de 35 MPa aos 28 dias. A Figura 21 mostra a central de concreto.

Figura 21 - Central de concreto.



Fonte: Autoria própria (2021).

Na central de concreto o dosador realiza a pesagem dos materiais para que iram compor o concreto de acordo com a carta traço. A Tabela 3 mostra a proporção dos materiais estabelecidos na carta traço para a execução de 1 m³ de concreto.

Tabela 3 - Traço em massa para produzir 1 m³ de concreto.

Cimento	CP III 40 RS	364 Kg
Agregado miúdo	Areia (1,18mm)	826 Kg
Agregado graúdo	Brita (19mm)	950 Kg
Água	-	96 Kg
Gelo	Escama	96 Kg
Aditivo	Muraplash FK 320	2,9 Kg

Fonte: Carta traço (Empresa X, 2021).

A partir das informações obtidas na revisão bibliográfica foi possível observar diferentes métodos de controle do calor de hidratação, sendo um deles por meio da adição de gelo em escamas para resfriar o concreto. Método esse, que foi utilizado pela Empresa X na dosagem do concreto seguindo uma proporção de 50% de gelo e 50% de água de amassamento.

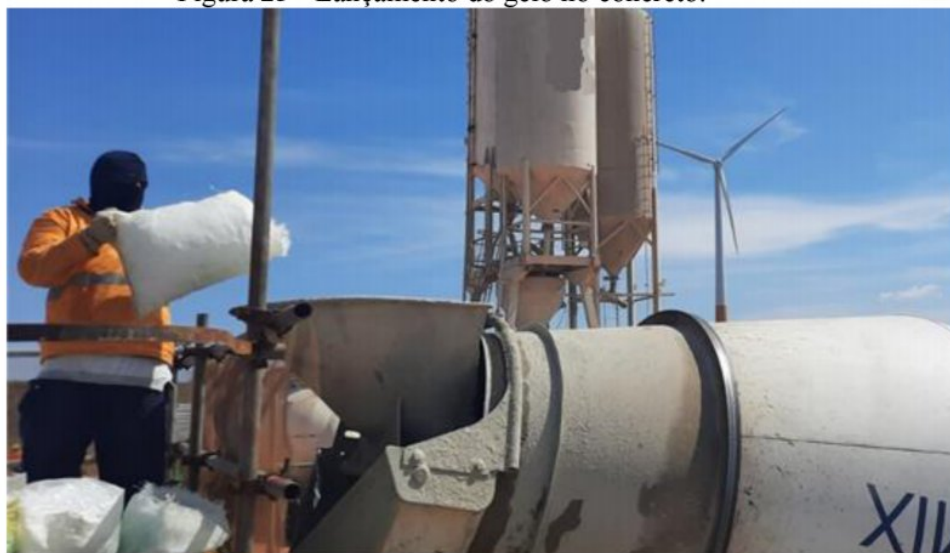
Seguindo a tabela 3, para cada caminhão betoneira com 8 m³ de concreto, são utilizados cerca de 768 kg de gelo em escamas. O gelo vem de fábrica em sacos de nylon pesando 20 kg cada. Antes do lançamento de cada saco com gelo no concreto é indispensável que seja realizada a pesagem do gelo para que seja respeitado os valores estabelecidos na carta traço. As Figuras 22 e 23 ilustram o processo de adição do gelo no caminhão já dosado.

Figura 22 - Pesagem do gelo antes do lançamento.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 23 - Lançamento do gelo no concreto.



Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com o trabalho de Carneiro, Gil e Campos Neto (2011), em obras verticais em Goiânia/GO foi seguido o método de adição de gelo em escamas no concreto para controle da temperatura de lançamento. Ocorreu a utilização de 70% de gelo do total da água de amassamento do concreto e apenas 30% de água fria. A temperatura de lançamento ficou em média de 19,95 °C, atingindo um valor máximo de 23 °C.

Já em Cavalcante Et al (2013), na obra do parque eólico Casa Nova, foi adotada a substituição de, no mínimo, 27% da água de amassamento por gelo. E o lançamento do concreto foi realizado a uma temperatura máxima de 29°C, para que as temperaturas no interior da estrutura não ultrapassem 65°C nos pontos críticos.

5.1.2 Pré-Refrigeração do agregado graúdo

Para ajudar a combater o alto calor de hidratação do concreto uma das técnicas utilizadas foi a pré-refrigeração do agregado graúdo. Por se tratar de um material que absorve rapidamente o calor do sol, a brita utilizada no concreto era umidificada no fim do dia antes da concretagem com o auxílio da mangueira de um caminhão pipa.

A Figura 24 mostra a brita ainda úmida durante a dosagem do concreto.

Figura 24 - Brita úmida.



Fonte: Autoria própria (2021).

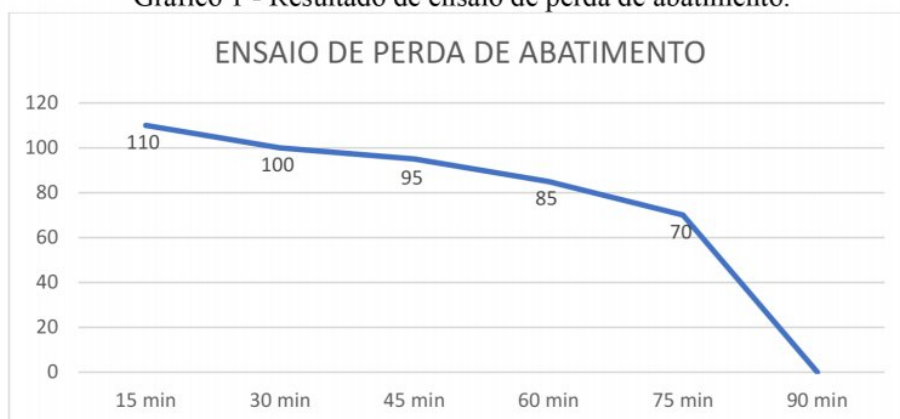
Carneiro, Gil e Campos Neto (2011), também indicam ações que podem ser tomadas para refrigeração e proteção dos agregados. Na ausência de uma central de refrigeração para os agregados, promover a proteção dos agregados da ação direta da radiação solar (insolação), por meio de uma proteção ou cobertura com lona plástica de cor clara. Previamente à mistura do concreto, os materiais devem ficar armazenados em local fresco e ventilado, e os agregados graúdos podem ser previamente molhados (cerca de 24 a 12 horas antes da mistura), para que entrem para a mistura na condição “saturada superfície seca”

5.2 CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO

5.2.1 Ensaios no recebimento do concreto

Logo após a dosagem do concreto na central, o caminhão betoneira parte para o local da concretagem para lançamento do concreto. O tempo estabelecido pela carta traço para lançamento do concreto é de 90 min, a partir disso inicia o processo de pega e a perda de abatimento. O gráfico 1 mostra o resultado do ensaio da perda de abatimento do concreto.

Gráfico 1 - Resultado de ensaio de perda de abatimento.



Fonte: Empresa (2021).

Na chegada do caminhão na frente de serviço, imediatamente antes do lançamento do concreto na bomba lança, é retirado de cada caminhão betoneira uma amostra com volume aproximado de 30 litros para realização dos ensaios de abatimento e aferição da temperatura de lançamento do concreto. As figuras 25 e 26 representam o teste de abatimento e aferição da temperatura, respectivamente.

Figura 25 - Teste de abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 26 - Aferição da temperatura do concreto antes do lançamento.



Fonte: Autoria própria (2021).

Os resultados dos ensaios de temperatura e abatimento são registrados e anotados em uma tabela de acompanhamento e controle de qualidade. Em média a temperatura de lançamento ficou com 20,3 °C e o abatimento com 12,5 cm. Não apresentando nenhum valor acima do indicado no projeto, que é de 25 °C.

Segundo Zalaf, Filho e Braz (2014), em todas as concretagens acompanhadas em seu trabalho, os funcionários das empresas responsáveis pelas moldagens dos corpos de prova e ensaios, tanto laboratoriais quanto *in loco*, retiraram a quantidade de concreto da betonada necessária para os testes. A partir da retirada das amostras do concreto, os funcionários das empresas terceirizadas, conforme determina a NBR 12 655 (ABNT, 2006), realizaram os testes de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*). Observou-se ainda que apenas uma das empresas, com a utilização de um termômetro digital de infravermelho, realizou a verificação da temperatura da mistura entregue.

5.2.2 Lançamento do concreto

Ao finalizar os ensaios e constatar que está tudo dentro dos parâmetros estabelecidos, o concreto é liberado para lançamento e execução da concretagem do bloco de fundação. A Figura 27 mostra o processo de lançamento do concreto.

Figura 27 - Execução de concretagem da base.



Fonte: Autoria própria (2021).

Com o objetivo de combater a elevação da temperatura do concreto, a concretagem foi realizada em camadas seguindo em espiral. Fazendo assim, com que se conservasse uma temperatura uniforme em todas as camadas. A figura 28 representa o modelo utilizado para rastreabilidade do concreto lançado em cada camada.

Figura 28 - Rastreabilidade do concreto por camada.



Fonte: Autoria própria (2021).

Depois que o concreto for aceito por meio do ensaio de abatimento, é realizado a coleta de uma amostra para moldagem de corpos de prova de acordo com a NBR 5738/2018, e após atingir os dias de cura, ser realizado o ensaio de resistência à compressão de acordo com a NBR 5738/2018. A amostra deve ser colhida no terço médio do caminhão-betoneira. O controle tecnológico utilizado foi baseado na NBR 12655:2015.

Após coletadas amostras do concreto fornecido, são confeccionados corpos de prova, que no estado endurecido servirão para a realização de ensaios de resistência à compressão. Todos os corpos de provas foram identificados com o nome da obra, carro betoneira, número do corpo de prova, data de moldagem e identificação da fundação que está sendo concretada.

Para cada caminhão betoneira foram moldados 8 corpos de prova, sendo rompidos 2 unidades para 3, 7, 14 e 28 dias, totalizando 488 corpos de prova moldados. A Figura 29 mostra o processo de moldagem dos corpos de prova.

Figura 29 - Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a moldagem e passadas 24 horas do término da concretagem, os corpos de prova eram desmoldados e colocados em um tanque com água onde ficariam pelo tempo necessário até a execução do rompimento para determinação da resistência característica do concreto. Finalizado os ensaios, os resultados foram satisfatórios. Obtendo valores médios de 21.6, 34.0, 42.2 MPa para os dias 3, 7 e 28 respectivamente.

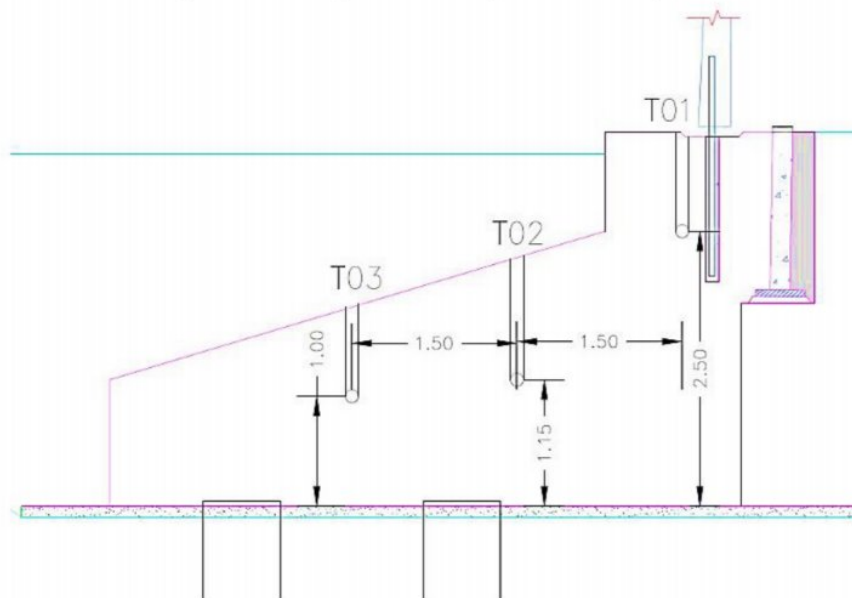
Carneiro, Gil e Campos Neto (2011), diz que a concretagem de edifícios verticais em Goiânia/GO foi realizada em duas etapas com duas camadas de concreto e com intervalo de lançamento de 6 dias entre essas etapas (30/03/11 a 05/04/11). A primeira camada foi feita com 70 cm de altura e teve uma duração de 2h34min de concretagem e a segunda teve 80 cm de altura e uma duração de 4h15min.

5.2.3 Processo de cura

Antes do início da concretagem foram instalados três pontos distintos de termopares onde a dissipação de calor é maior, conforme indicado no estudo térmico realizado para a

obra. Através dessa instalação, será possível verificar a temperatura do concreto endurecido. A Figura 30 ilustra o croqui para instalação dos termopares.

Figura 30 - Croqui de instalação dos termopares.



Fonte: Empresa X (2021).

A primeira medição é realizada logo após o encerramento da concretagem, ou seja, na realização do acabamento final no topo da estrutura da base, com a instalação do data Logger para o início do monitoramento. A partir disso, o equipamento começa a gerar a leitura dos dados automaticamente. A Figura 31 mostra a leitura de temperatura do data Logger.

Figura 31 - Leitura de temperatura no data Logger.



Fonte: Autoria própria (2021).

É recomendado que a temperatura máxima medida seja de até 65°C, não podendo ultrapassar 70°C. A leitura seguirá até ao final das 72h do início da instalação do data Logger, ao qual finalizam as leituras. Os dados serão coletados com uso de software do fabricante para indicação das leituras das temperaturas. A Tabela 4 representa os valores médios registrados pelo data Logger durante o processo de cura de uma base.

Tabela 4 - Controle de temperatura durante processo de cura.

DIA	TEMPO (Horas)	T_{Média} (°C)	T_{Máxima} (°C)
1º	03:35:27 – 23:35:29	32,47	51,50
2º	00:35:29 – 23:35:32	45,70	58,90
3º	00:35:32 – 23:35:34	46,10	59,70
4º	00:35:34 – 09:35:35	40,97	57,90

Fonte: Controle tecnológico da Empresa X (2021).

Para evitar influência do calor oriundo do sol, logo após o processo de endurecimento do concreto de no mínimo 12 horas, a base é coberta por uma manta geotêxtil que tem como objetivo principal reter a água nos vazios capilares, impedindo a sua evaporação, porém cedendo um fluxo progressivo de água necessária à cura do concreto, reduzindo a frequência de umidificação da base.

Depois da fixação da manta geotêxtil, foram colocadas as mangueiras, que devem ser perfuradas, de maneira que permitam a irrigação das mantas, interligando-as em uma caixa de água que deverá estar instalada de tal maneira que o seu sistema funcione por gravidade. A cura úmida seguirá até 7 dias. A Figura 32 mostra o processo de cura úmida da base.

Figura 32 - Cura úmida do bloco de fundação.



Fonte: Autoria própria (2021).

Cavalcanti Et al. (2013), disse que para o acompanhamento da elevação de temperatura no interior das bases no parque eólico de Casa Nova, foram instalados termômetros no concreto para acompanhamento da elevação de temperatura no interior da estrutura. Para avaliar a elevação da temperatura, foram realizadas leituras iniciais de hora em hora, nas primeiras 24h, e durante os seis dias seguintes de 3h em 3h.

Ainda segundo Cavalcante Et al (2013), após a concretagem e adensamento, é realizada a aplicação de manta de tipo “Bidin” logo após o término do acabamento combinado com a necessária e permanente aspersão de água tipo spray, devido a elevadas temperaturas ambientes que alcançaram a 46°C, ao mesmo tempo que a umidade relativa chegou a ser de apenas 26%.

5.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Após a realização da cura úmida durante 7 dias, é realizado a retirada da fôrma e da manta geotêxtil. Depois de todo o processo de controle tecnológico do concreto, ao finalizar a remoção da fôrma e manta, ainda foi possível identificar algumas patologias como fissuras, trincas e nichos de concretagem.

Os nichos de concretagem originaram-se de possíveis falhas de execução como a não conformidade durante a vibração nos locais próximos a fôrma, ou por ter sido lançado com o abatimento alto não alcançando todos os pontos devido a densidade do aço em alguns locais. As Figuras 33 e 34 mostram alguns nichos de concretagem na base.

Figura 33 - Nicho de concretagem.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 34 - Nicho de concretagem.



Fonte: Autoria própria (2021).

Além dos nichos, foram identificados os surgimentos de algumas fissuras e trincas oriundas do alto calor de hidratação do concreto. As imagens 35 e 36 mostram algumas dessas patologias.

Figura 35 - Fissuras originadas pelo calor de hidratação.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 36 - Trinca originada pelo calor de hidratação.



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a identificação de todas as patologias é realizado o reparo seguindo procedimento aprovado pela Empresa X. O tratamento deverá ser executado inicialmente com a abertura do local, utilizando um disco de corte, de modo que a largura, ao final, seja da mesma ordem da espessura do disco. Deverá ser feito a limpeza do local, sendo retiradas todas as impurezas com escovas ou pincéis de cerdas flexíveis, depois com auxílio de espátula, pincel, brocha ou outros meios equivalentes deverá ser aplicado a cola epóxi. As Figuras 37, 38 e 39 mostram a execução de reparos nas bases.

Figura 37 - Abertura e limpeza das fissuras.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 38 - Abertura para reparo de nichos de concretagem.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 39 - Aplicação de cola epóxi.



Fonte: Autoria própria (2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a execução da obra e produção do concreto, todos os profissionais envolvidos estão diretamente ligados com a execução para que possa garantir a qualidade do produto final, além de possuírem obrigações distintas e complementares que estão relacionadas à conformidade do concreto. Os principais componentes de controle dessa realização de serviço são a central de concreto, o projetista, o laboratório de controle tecnológico e a construtora.

Para garantir a qualidade do concreto e sua durabilidade, bem como sua aceitação junto às especificações estabelecidas no projeto, tornou-se imprescindível a utilização das metodologias apresentadas no presente trabalho para o controle tecnológico do concreto. Esse controle deve ser executado tanto no estado fresco do concreto quanto em seu estado endurecido. E é parte integrante não apenas para a comprovação da qualidade da obra, mas também para o próprio cumprimento do cronograma da mesma, respeitando às ações construtivas e seus efeitos sobre a estrutura para evitar patologias e deformações.

O concreto produzido na central esteve sempre em conformidade com os parâmetros de consistência e resistência à compressão, estabelecidos pelo projeto e respeitando os requisitos da NBR 12655:2015 para o tipo de controle total do concreto.

Para realização do controle do calor de hidratação do concreto e acompanhamento da estabilidade da temperatura pós início de pega, as técnicas que foram utilizadas corresponderam de forma eficiente para garantir um lançamento do concreto com temperatura menor que 25 °C, e manter sua elevação de calor abaixo de 65 °C.

Portanto, indica-se a utilização das técnicas apresentadas no referencial bibliográfico, assim como as utilizadas pela empresa estudada para próximas concretagens, tendo em vista que os resultados obtidos foram satisfatórios.

Quanto a resistência à compressão, todos os corpos de prova foram moldados em conformidade com a NBR 5738/2018 e apresentaram resultados positivos quanto ao valor de resistência à compressão obtidos para 3, 7, 14 e 28 dias após a moldagem.

Embora tenha se aplicado várias técnicas para controle tecnológico do concreto e controle da temperatura, ainda foi possível identificar algumas patologias na estrutura. As fissuras e trincas originadas pela retração térmica e os nichos de concretagem oriundos da má execução foram reparados através do uso de cola Epóxi, com base no procedimento estabelecido pela Empresa X.

7 REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, Francisco Rodrigues; SKWARCZYNSKI, Tadeusz M. **Concreto pré-refrigerado no Brasil: uma evolução com mais de 20 anos**. Rio de Janeiro: Logos Engenharia, 1988. 104 p.

ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ARIVABENE, Antonio Cesar. Patologias em Estruturas de Concreto Armado. **Revista Especialize On-Line Ipog**, Goiânia - Go, v. 1, n. 10, p. 1-22, dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 29 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16886**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2020. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2020. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Concreto dosado em central - Preparo, fornecimento e controle. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2021. 25 p.

CARNEIRO, Guilherme Victor Humberto Soares; GIL, Leonardo Koziel dos Santos; CAMPOS NETO, Manoel Pires. **Calor de Hidratação no Concreto**. 2011. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil, Universidade de Goiás, Goiânia - Go, 2011.

CARNEIRO, Guilherme Victor Humberto Soares; GIL, Leonardo Koziel dos Santos; CAMPOS NETO, Manoel Pires. **Calor de Hidratação no Concreto**. 2011. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a nbr 6118:2014. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2016. 415 p.

CASCUDO, Oswaldo. **O Controle Da Corrosão De Armaduras Em Concreto**. Goiânia: Pini, 1997. 238 p.

CAVALCANTI, Marlon de Barros; CARVALHO, Claudio Luiz de; BORBA, Allan de Oliveira; CAVALCANTI, Alberto Jorge Coelho Tavares; ANDRADE, Tibério Wanderley Correia de Oliveira; HELENE, Paulo. Qualidade de torres de concreto para o Parque Eólico de Casa Nova. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 55., 2013, Gramado-Rs. **Anais [...]**. Gramado-Rs: Ibracon, 2013. p. 1-18.

CIMENTO.ORG (org.). **CP BC Cimentos Portland de Baixo Calor de Hidratação**. Disponível em: <https://cimento.org/cimentos-portland-de-baixo-calor-de-hidracao-2/>. Acesso em: 24 mar. 2021.

COELHO, Nailde de Amorim. **Um estudo numérico do efeito térmico em concreto massa**. 2012. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2012.

GAMBALE, E.A.; CESAR, M. C.; QUEIROZ, A.C. E.; MOTTA C.F.C.; ANDRADE, M.A.S. Simulação numérica e verificação "in loco" das temperaturas da viga Munhão da UHE Foz do Chapecó. In: 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Curitiba: Ibracon, 2009a.

GAMBALE, Patrícia Guedes. Estudo do calor de hidratação do concreto massa e contribuição ao cálculo térmico e à previsão de fissuras de retração. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Rio de Janeiro: Gen / Ltc, 2006. 376 p.

GUERRA, Ruy Serafim de Teixeira. **Técnicas Práticas de Cura do Concreto**. 2014. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/06/tecnicas-praticas-de-cura-do-concreto.html>. Acesso em: 11 abr. 2022.

HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992.

INSTITUTE, American Concrete. **Guide to Hot Weather Concreting**. Farmington Hills: Aci, 2010. 27 p.

KOSMATKA, Steven H.; KERKHOFF, Beatrix; PANARESE, William C. **Design and Control of Concrete Mixtures**. 14. ed. United States Of America: Pca, 2002. 358 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

NAKAMURA, J. Cuidados para resistir à maresia. *Téchne*, 88 ed, 2004. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/88/artigo286302-1.aspx>>. Acesso: 24/03/2022.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. [S.L]: Bookman, 2015. 912 p.

PACHECO, Jéssika; HELENE, Paulo. **Controle da Resistência do Concreto**. Mérida: Alconpat Brasil, 2013. 18 p.

PARANÁ, Universidade Federal do. **Concreto com gelo**. Curitiba: Ufpr, 2007. 6 p.

PETRONILHO, Edson; SÍGOLO, Caio. **Concreto Refrigerado: princípios fundamentais para projetar estruturas duráveis em concreto refrigerado**. [S.L]: Petronilho e Associados, 2011. 24 p.

PIANCASTELLI, E.M. – Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado – Ed. Depto. Estruturas da EEUFMG – 1997 – 160p.

PINHEIRO, L.M., GIONGO, J.S. **Concreto armado: propriedades dos materiais**. São Carlos, EESC-USP, 1986. 79p.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos/Sp: Eesc Usp, 2007. 380 p.

REBMAN, Markus Samuel. **Durabilidade de Concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência**. 2011. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos - Eesc Usp, São Carlos, 2011.

SALUM, Paula de Lima. **Efeito da elevação de temperatura sobre a resistência à compressão de concretos massa com diferentes teores de cinza volante**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SILVA, C. O; BATTAGIN, A. F. Impacto da temperatura do cimento na temperatura do concreto e medidas para prevenir a retração plástica. *Revista Téchné*, ed 183, 2011.

SOUSA, Alex Lucena de; SILVA, Iago Rhuan Rocha da; CASTRO, Paulo Henrique Machado de. **Retração Térmica e Fissuração em Concreto por Calor de Hidratação**.

2014. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia - Go, 2014.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 262 p.

ZALAF, Rafael Schmaltz; MAGALHÃES FILHO, Saulo Ribeiro; BRAZ, Thiago Carvalho. **Estudo do controle tecnológico e recebimento do concreto em obra**. 2014. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.