

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR UFRJ - MACAÉ
INSTITUTO POLITÉCNICO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

AGUSTÍN FELIX MARTINEZ

PLANEJAMENTO, EXECUÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DO CONCRETO DA TURBINA
DA TERMOELÉTRICA MARLIM AZUL I

MACAÉ

2022

CIP - Catalogação na Publicação

M385

Martinez, Agustin Felix

Planejamento, execução e documentação do concreto da turbina da termoelétrica
Marlim Azul I / Agustin Felix Martinez - Macaé, 2022.

68 f.

Orientador(a): Monique Amaro de Freitas Rocha Nascimento.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia Civil, 2022.

1. Concreto massa. 2. Planejamento. 3. Termoelétrica. 4. Engenharia civil.
I. Nascimento, Monique Amaro de Freitas Rocha, orient. II. Título.

CDD 624

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR UFRJ - MACAÉ
INSTITUTO POLITÉCNICO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

AGUSTÍN FELIX MARTINEZ

PLANEJAMENTO, EXECUÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DO CONCRETO DA TURBINA
DA TERMOELÉTRICA MARLIM AZUL I

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Politécnico, do Centro Multidisciplinar UFRJ – Macaé, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Monique Amaro de Freitas Rocha Nascimento

MACAÉ

2022

PLANEJAMENTO, EXECUÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DO CONCRETO DA TURBINA
DA TERMOELÉTRICA MARLIM AZUL I

AGUSTÍN FELIX MARTINEZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Politécnico, do Centro Multidisciplinar UFRJ – Macaé, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Macaé, 19 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. D.ra. Monique Amaro de Freitas Rocha Nascimento

<http://lattes.cnpq.br/2127043376878064>

(orientadora)

Prof. D.r. Leandro Tomaz Knopp

<http://lattes.cnpq.br/7990277723740763>

Eng. Renato Tavares Mota

Esta obra é dedicada aos meus pais Ariel Felix Martinez e Maria Fernanda La Torre, os quais sempre se esforçaram em proporcionar a mim e a minha irmã a melhor educação possível, sem a qual eu não teria conseguido chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família que sempre me proporcionou tudo o que eu preciso e me apoiaram durante toda a minha trajetória, me motivando e sempre acreditando que eu era capaz. A vontade de orgulhar e atender seus desejos sempre me fez seguir em frente e dar tudo de mim para alcançar esse objetivo.

Gostaria também de agradecer a todos os professores que tive o prazer e honra de ter aula, não podendo reclamar de nenhum, pois todos foram solícitos em tirar dúvidas e nos ensinar da melhor forma possível para sermos engenheiros com orgulho e confiança.

A minha namorada, Larissa Mendes Xavier, que durante todo o processo da minha formação esteve ao meu lado, sempre disposta a me ajudar e me proporcionar momentos de incrível felicidade.

Aos engenheiros: Renato Tavares Mota, Carlos Júnior, Wellington Fernandes, Bruno Chagas Araújo, Franz Almeida, José Francisco Faria e Arnaldo Junior, que trabalham comigo na construção da UTE MARLIM AZUL I, e que desde sempre me ajudaram e me ensinaram muito do que sei, com ênfase ao engenheiro Renato Tavares Mota, o qual foi de vital importância na elaboração desse trabalho.

RESUMO

O presente trabalho se propôs a dissertar sobre o estudo de caso da 1ª etapa da concretagem da base dos pedestais das turbinas da termelétrica Marlim Azul I em Macaé RJ, abordando o planejamento executivo e as soluções tomadas pelo fato de ser uma concretagem única de 1416 m³ de concreto. Com alguns problemas semelhantes aos enfrentados em concretagens de grande volume como de barragens, esses tipos de concretos são conhecidos como concretos massa.

Algumas questões que envolvem esta concretagem são abordadas no decorrer deste estudo, como: a fissuração por retração causada pelo alto calor de hidratação do concreto e métodos de combate as mesmas, o gerenciamento e planejamento da concretagem, desde apresentação e aplicação do concreto até a descrição das atividades, o plano logístico, a quantidade de mão de obra utilizada, os equipamentos e os meios de comunicação utilizados. As dificuldades na execução e o controle de qualidade foram também retratados e desdobrados.

Junto a isso, foram demonstrados os resultados de controle, obtidos durante a concretagem e após a mesma, dentre eles o acompanhamento da temperatura no interior da peça medida todos os dias, sete dias após a conclusão da concretagem e os resultados dos rompimentos dos corpos de prova (aos 28 dias).

Dessa forma, foi possível compreender a influência de diversos fatores que contribuíram para a conclusão com sucesso da concretagem, terminada sem nenhuma manifestação patológica e alcançando os parâmetros de cálculo e projeto, evidenciando a importância do bom planejamento, do cuidado e conhecimento na execução.

Palavras-Chave: Calor de hidratação. Concreto Massa. Fissuração por retração. Elementos Finitos. Planejamento. Termelétrica. Técnicas de resfriamento do concreto. Grandes blocos de fundação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista superior da base da turbina antes do concreto	14
Figura 2 – Exemplo de fissuras no concreto	17
Figura 3 – Exemplo de separação em elementos finitos	19
Figura 4 – Efeitos do planejamento	19
Figura 5 – Vista superior da base da turbina antes do concreto	21
Figura 6 – Esquema representativo da base concretada	23
Figura 7 – Formas, modelo SL 2000 da Mills	24
Figura 8 – Montagem da armação	24
Figura 9 – Montagem da armação	25
Figura 10 – Estação total utilizada para conferências de topografia	25
Figura 11 – Dados do clima no dia da concretagem	27
Figura 12 – Primeiro trajeto - Supermix / Obra	28
Figura 13– Segundo trajeto - Supermix / Obra	28
Figura 14 – Primeiro trajeto - Polimix / Obra	29
Figura 15 –Segundo trajeto - Polimix / Obra	29
Figura 16 – Ilustração do posicionamento das bombas para lançamento do concreto	30

Figura 17 – Carta traço do concreto	31
Figura 18 – Container frigorífico utilizado na obra com gelo	32
Figura 19 – Passo a passo do despejo de gelo na betoneira	33
Figura 20 – Quantidade e funções da mão de obra por turno	35
Figura 21 – Foto do rádio utilizado	37
Figura 22 – Termômetro de monitoramento da temperatura do concreto	38
Figura 23 – Corpos de prova em cura úmida após a concretagem	39
Figura 24 – Içamento do gelo com munck para mistura no caminhão betoneira	40
Figura 25 – Vista superior da peça antes da finalização	44
Figura 26 – Camadas de 20cm em uma seção da peça de altura total 2m	45
Figura 27 – Concretagem da base da turbina	46
Figura 28 – Realização do acabamento do concreto da base da turbina	47
Figura 29 – Cura úmida com lâmina d'água da base da turbina	48
Figura 30 – Gráfico de dispersão da resistência dos corpos de prova	49
Figura 31 – Pontos de medições de temperatura do concreto da base da turbina	50
Figura 32 – Gráfico de decréscimo da temperatura nos 7 dias após a concretagem	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cálculo de tempo para chegada de um caminhão da usina até a obra	34
Quadro 2 – Distância entre pontos de vibração para cada diâmetro de agulha	47
Quadro 3 – Temperatura nos 4 pontos de medição dentro da estrutura durante 7 dias	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACI Commitee – *American Concrete Institute Commitee*

APT – Análise Pré Tarefa

EPC – Equipamentos de Proteção Coletiva

EPI – Equipamentos de Proteção Individual

FCK – *Feature Compression Know*

SMS – Segurança, Meio Ambiente e Saúde

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

Tmáx – Temperatura máxima

UTE – Usina Termoelétrica

SUMÁRIO

1.	15	
1.1	Objetivo	14
1.2	Metodologia	15
2.	17	
2.1	Calor de hidratação	16
2.2	Como combater a fissuração	17
2.3	Método dos elementos finitos	18
2.4	21	
3.	22	
4.	23	
4.1	Aplicação	22
4.2	Referências de projeto	22
4.3	Apresentação das atividades antes da concretagem	23
4.4	Atividades e considerações para o dia da concretagem	26
4.5	Previsão do Tempo	26
4.6	Plano logístico	27
4.6.1	Trajeto usina-obra	27
4.6.2	Posicionamento da betoneira e bomba	30
4.6.3	Dosagem de gelo	30
4.6.4	Método de carregamento do gelo	31
4.6.5	Previsão de carregamento e aplicação de concreto por usina	33
4.7	Quantidade de mão-de-obra	35
4.8	Equipamentos	36
4.9	Comunicação durante a concretagem	37
4.10	Qualidade	38
4.10.1	Relatório, laudos e certificados pré-concreto	39
4.10.2	Cálculo térmico	40
4.11	Segurança, meio ambiente e saúde	41
4.11.1	Segurança	41
4.11.2	Meio Ambiente	41
4.11.3	Saúde	42
5.	44	
5.1	Ensaio e Acompanhamento do Concreto	43
5.2	Lançamento do concreto	43

5.3 Adensamento de concreto	45
5.4 Cura do concreto	47
6. 50	
7. 53	
Referências Bibliográficas	54
Anexo A	55
Anexo B	62

1. Introdução

O American Concrete Institute Committee 116 (ACI Committee) define concreto massa como concreto em uma estrutura maciça, seja ela uma base, laje, pilar, estaca, comportas, ou barragens, onde o volume é de tal magnitude que requer meios especiais para combater a geração de calor e a decorrente mudança de volume. (Mehta & Monteiro, 2008)

Existe uma ideia errônea na qual se acredita que o concreto massa é apenas utilizado nas construções de barragens, mas como será demonstrado nesse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), técnicas fortemente desenvolvidas nas construções de barragens podem ser aplicadas em diversos outros casos, onde se necessita uma estrutura única de concreto grande o suficiente.

Como a reação de hidratação do cimento com a água é exotérmica, concretos resfriados com gelo são uma importante solução para evitar fissuras em concretagens de alto volume, como ocorre em barragens, grandes blocos de fundação, pavimento de concreto e também em concreto cuja receita demanda grande quantidade de material cimentício. (Mehta & Monteiro, 2008)

A construção de várias termoelétricas vem sendo estudada para aproveitamento do gás natural na cidade de Macaé – Rio de Janeiro, como a termoelétrica Marlim Azul I que está em construção atualmente e é retratada nesse trabalho e a UTE Norte Fluminense, em Macaé (RJ) que já se encontra em operação.

Devido à chegada do gás natural da extração de petróleo, a construção das termoelétricas acompanha inúmeras possibilidades de métodos construtivos e novas tecnologias. Com bases de fundação, blocos sobre estacas e lajes espessas de vários metros de comprimento e especificações de concretos de alta resistência (alto consumo de cimento), o problema de fissuração térmica pode ser tão sério como os das barragens. (Mehta & Monteiro, 2008)

O concreto do bloco de fundação da base da turbina da termoelétrica tem característica de concreto massa, onde a principal preocupação é com relação à tensão térmica, a qual pode gerar fissuras no plano vertical e horizontal, dentre outras preocupações, como com relação aos vazios formados durante a concretagem, assentamento plástico e fissuras devido à retração plástica. Para evitar tais patologias são apresentadas recomendações técnicas, controle tecnológico do concreto mais rígido, e vários detalhes durante a concretagem, que ajudam no controle desses problemas. (Mehta & Monteiro, 2008)

1.1 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo geral apresentar o planejamento, execução, controle e análise de dados da concretagem da base da turbina, GAS AND STEAM TURBINES PEDESTAL na RODOVIA RJ-168, RUA DOS GARCONS, S/Nº LOTE 46 E 47 LOTEAMENTO CLIMA, CEP: 27.947.567 BAIRRO: HORTO CIDADE MACAÉ – RJ representada na imagem a seguir:

Figura 1 – Vista superior da base da turbina antes do concreto



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Sendo os objetivos específicos:

1- onde será feito o concreto; 2- levantamento de atividades; 3- previsão do tempo; 4- plano logístico dos caminhões betoneira; 5- dosagem de gelo; 6- apresentando o método de carregamento dos caminhões betoneira; 7- quantidade de mão de obra; 8- equipamentos; 9- relatórios laudos e certificados de qualidade necessários; 10- resultados dos cálculos térmicos da base de concreto; 11- considerações sobre segurança, saúde e meio ambiente; 12- um pouco sobre considerações da execução; e 13- avaliação dos resultados dos ensaios do concreto, com finalidade de apresentar o estudo de caso de uma grande concretagem de termoelétrica.

1.2 Metodologia

O trabalho é um estudo de caso dividido em planejamento, onde se apresenta a mentalidade e informações obtidas antes da concretagem, execução onde se apresentam

procedimentos que foram seguidos durante a mesma e controle e análise de dados da concretagem onde se revelam dados e informações relevantes para a aceitação da estrutura.

Separados em sete capítulos, onde o Capítulo 1 introduz o tema a ser estudado trazendo uma breve contextualização sobre o estudo de caso. O Capítulo 2 traz informações bibliográficas sobre os temas e problemas abordados. No Capítulo 3 é apresentado melhor o estudo de caso em si e como será abordado. Já nos Capítulos 4, 5 e 6 são abordados em respectiva ordem, planejamento, execução e resultados da concretagem. Ao fim o Capítulo 7 traz as considerações finais sobre os temas discutidos.

2. Revisão bibliográfica

Várias literaturas trazem as técnicas e complexidades de se fazer concreto armado, em todas as suas inúmeras aplicações. Esse material traz grandes vantagens como: sobre a maioria das solicitações apresentarem boa resistência, adaptar-se a vários formatos dando grande

liberdade ao projetista, possuir técnicas de execução já dominadas em todo o Brasil, ser um material durável e possibilitar a utilização de pré-moldados tornando a execução rápida e fácil. (Carvalho & Rodrigues, 2017)

Sobre tudo neste caso, o fato de serem resistentes a choques, vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos, e desgastes mecânicos além de possibilitar a construção de estruturas monolíticas (concretagem única, que melhora a distribuição de esforços) (Carvalho & Rodrigues, 2017), são fatores essenciais para o devido funcionamento e durabilidade da base da turbina da termoelétrica, haja vista que a mesma não só é uma carga peso considerável, mas também gera grande vibração e deve possuir grande durabilidade.

2.1 Calor de hidratação

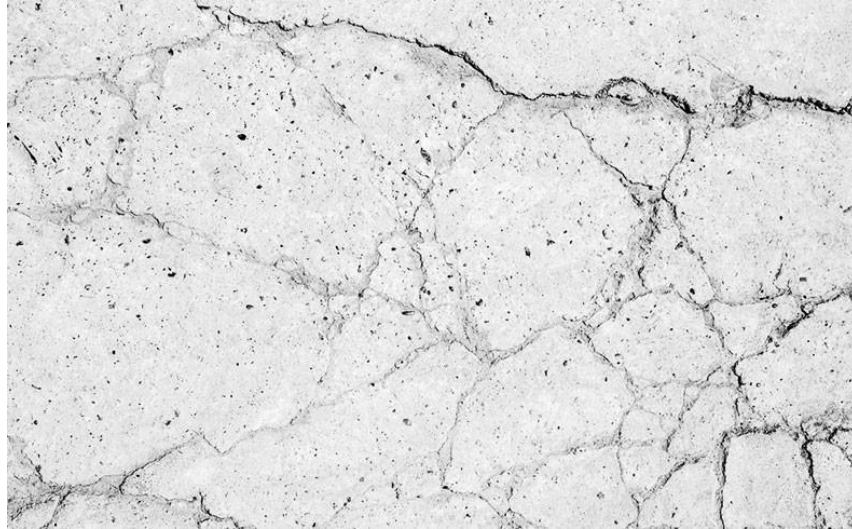
Um dos grandes problemas a ser enfrentado nessa concretagem é o calor de hidratação. Várias reações químicas conhecidas são como a hidratação do concreto, reações chamadas exotérmicas, ou seja, aquelas que liberam calor durante a reação, onde, no concreto a reação é conhecida como: calor de hidratação, o qual é medido em Joules por grama de cimento anidrido até a hidratação completa. (A.M. Neville & J.J. Brooks , 2013)

O caso apresentado se trata de um bloco de concreto massa, que devido ao seu grande volume pode atingir altas temperaturas internas em relação ao calor de hidratação, o qual com o resfriamento das superfícies cria um gradiente de temperatura muito alto, gerando tensões de tração nas camadas superficiais, fissuras nas fases laterais, do topo do bloco e até uma fissuração interna na massa de concreto. (Araújo, 2014)

Quando o exterior é responsável por realizar trocas de calor com o concreto, é gerado um gradiente de temperatura no interior do mesmo. Com a expansão térmica interna do concreto, esforços de compressão internos são gerados no concreto, os quais são contidos pela resistência a tração no exterior da massa. Essa tensão, se superior a resistência do concreto pode ser responsável por causar uma fissuração da superfície. Tais fissuras são a princípio, inofensivas, pois quando o concreto começa a resfriar, é gerada uma contração responsável por fechar essas fissuras, porém, durante a fase de resfriamento, ocorre um menor alívio de tensão pela fluência em relação a fase de aquecimento, devido ao concreto se encontrar mais maduro.

Dessa forma, a tensão de tração induzida causada pela restrição interna no resfriamento pode ser grande o suficiente para causar fissuras no interior da massa de concreto, como as fissuras devido a retração representadas na imagem abaixo.

Figura 2 – Exemplo de fissuras no concreto



Fonte: Votorantim, 2016.

2.2 Como combater a fissuração

Conseqüentemente, para evitar a fissuração do concreto deve-se limitar e minimizar o diferencial de temperatura (gradiente interno do concreto), ou seja, minimizar a diferença de temperatura entre o pico de temperatura do concreto interna, por conta do calor de hidratação e o ambiente externo. (A.M. Neville & J.J. Brooks , 2013)

A diferença de temperatura entre esses dois pontos é admissível quando abaixo dos 40°C. Para isso podem ser tomadas algumas medidas. Sabe-se que para diminuir 1°C na temperatura do concreto fresco, pode-se diminuir a temperatura de qualquer um dos três componentes da mistura, sendo necessário: a diminuição de 9°C do cimento ou 3,6°C da água ou 1,6°C dos agregados. (A.M. Neville & J.J. Brooks , 2013)

Além disso, é muito mais fácil resfriar a água do que o cimento ou o agregado, pois é possível utilizar gelo como parte da água de amassamento, o qual será responsável pela retirada de muito mais calor para prover o calor latente de fusão do gelo. O uso do gelo, no entanto, deve ser realizado com cuidado, pois o mesmo deve estar derretido ao término da mistura. Por outro lado, uma maneira menos eficiente, porém econômica que também pode ser utilizada é o resfriamento dos agregados, o qual pode ser alcançado simplesmente pela proteção das pilhas de agregados do sol e por uma aspersão controlada de água. (A.M. Neville & J.J. Brooks , 2013)

Blocos de concreto massa exigem a adoção de um conjunto de medidas para a sua realização de forma eficaz, como: concretagem em camadas de menor altura, pré-refrigeração

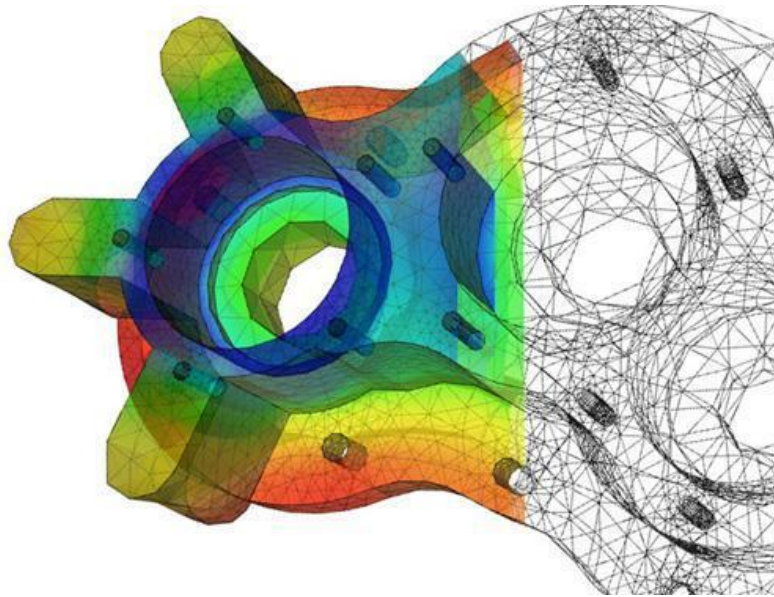
e/ou pós-refrigeração do concreto para evitar altos gradientes de temperatura, redução do consumo de cimento, cura prolongada para retardar a retração, dentre outras. (Araújo, 2014)

2.3 Método dos elementos finitos

O método utilizado para melhor simulação das tensões geradas pelo gradiente térmico é o dos elementos finitos, que é muito utilizado na Matemática e na Engenharia Mecânica para simulação da propagação de calor, e é conhecido na Engenharia Civil para simular distribuições de tensão em diversas estruturas.

Este, de modo bem simplificado é baseado no método de Ritz que prevê a divisão do domínio da integração em meios contínuos em um número finito de pequenas regiões conhecidas e denominadas elementos finitos (ver Figura 3), que quando combinado com: propriedade térmica, curva de elevação adiabática de temperatura, troca de calor por convecção, bem como as propriedades mecânicas do concreto, pode também ser utilizado para determinar as tensões no concreto decorrentes do calor de hidratação. Nesse método, estes fatores sofrem uma análise acoplada para assim descobrir a tensão gerada pela expansão e retração do concreto, e compará-la com a resistência a tração do mesmo. (Araújo, 2014)

Figura 3 – Exemplo de separação em elementos finitos

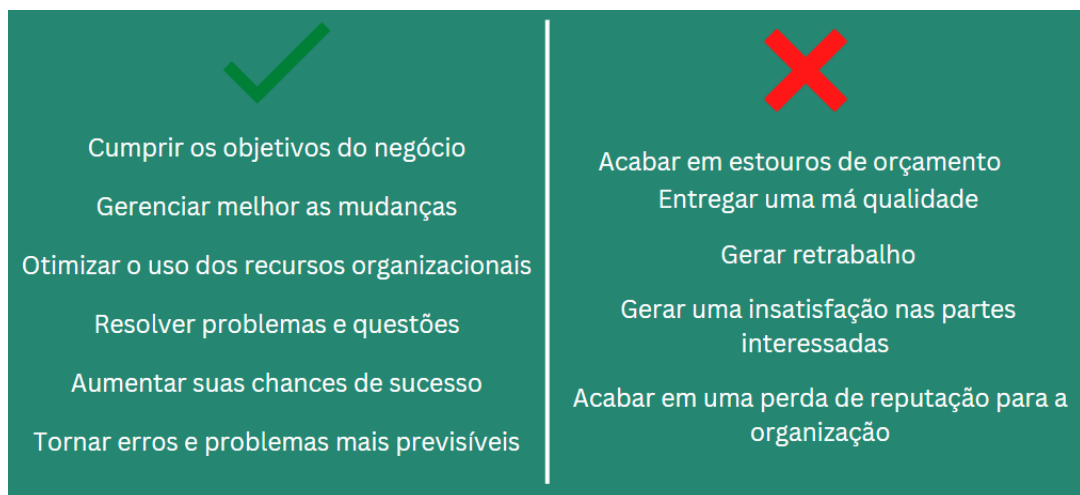


Fonte: Ensus, 2016.

2.4 Importâncias do planejamento, gerenciamento e controle de obras

Cada vez mais se evidencia a necessidade de um bom planejamento e gerenciamento de qualquer processo e serviço. Um gerenciamento de projetos eficaz ajuda em vários quesitos, sendo alguns deles: cumprir os objetivos do negócio, gerenciar melhor as mudanças, aperfeiçoar o uso dos recursos organizacionais, resolver problemas e questões, aumentar suas chances de sucesso e tornar erros e problemas mais previsíveis. (Project Management Institute, 2017)

Figura 4 – Efeitos do planejamento



Fonte: arquivo pessoal, 2022.

Já por outro lado, o mau planejamento e gerenciamento do projeto podem: acabar em estouros de orçamento, entregar uma má qualidade, gerar retrabalho, gerar uma insatisfação nas

partes interessadas e acabar em uma perda de reputação para a organização. (Project Management Institute, 2017)

Cada vez mais o prazo de execução, o custo final da obra e o lucro obtido do serviço são pontos responsáveis por indicar o sucesso do negócio, os quais vêm sendo evidenciados, gerando, assim, investimentos em gestão, planejamento e controle de processos. (Mattos, 2019)

Planejar é um dos caminhos mais indicados para garantir a perpetuidade da empresa, haja vista que tem forte impacto no desempenho da produção. O planejamento segue uma linha de pensamento onde primeiro se identificam as atividades, a sua duração, sua sequência de passos, além da identificação dos possíveis gargalos e caminhos críticos e após esse levantamento gera-se um plano de ação e cálculo de folgas responsável por minimizar possíveis contratempos e incertezas. (Mattos, 2019)

É importante ressaltar que mesmo o planejador sendo muito criterioso e analítico, a duração é sempre uma estimativa, e por isso existe uma margem de erro, que varia com a repetição das atividades e o conhecimento que se tem das mesmas (experiência). (Mattos, 2019)

Logo, com a evidência da sua importância, surgiu um princípio chamado “princípio da melhoria contínua”, que foi muito frisado na realização da obra, e traz alguns princípios do Gerenciamento da Qualidade, como: a integração de todos no processo de melhoria, a quebra de barreiras entre equipes e departamentos de forma que prevejam problemas e soluções, a ideia de nascimento da qualidade do produto logo no início e a constância de propósitos de melhoria do produto e serviço. (Mattos, 2019)

3. Apresentação do estudo de caso

O estudo de caso em questão será dividido em 03 partes: Planejamento, Execução e Resultados, onde será seguida a abordagem da concretagem real. No tópico de planejamento

serão apresentados os pontos que se devem analisar e planejar antes da concretagem, visando minimizar qualquer imprevisto e reduzir o número de problemas durante a concretagem. Já no tópico de execução será narrado o passo a passo da concretagem além de apresentados tópicos de suma importância a serem levados em conta durante e após a concretagem. Para finalizar serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão, tração e o controle de temperatura.

Figura 5 – Vista superior da base da turbina antes do concreto



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

4. Planejamento

4.1 Aplicação

O concreto foi realizado na Usina Termoelétrica (UTE) – Marlim Azul, na peça chamada Gas and Steam Turbine Pedestal, como pode ser visto em vermelho na Figura 5, a qual possui um volume de concreto de projeto de 1.416,30 m³, e teve como previsão inicial uma estimativa de ser realizado na data 10/12/2020, começando no período da manhã e terminando no dia 11/12/2020 no período da manhã também, onde no capítulo 4.6.5. será abordado mais especificamente a duração da concretagem em horas.

4.2 Referências de projeto

Todo o planejamento, cálculos, desenhos, cotas e coordenadas foram baseados ou retirados dos projetos fornecidos pelos escritórios de cálculo e engenharia do cliente, em suas respectivas revisões e datas de entrega.

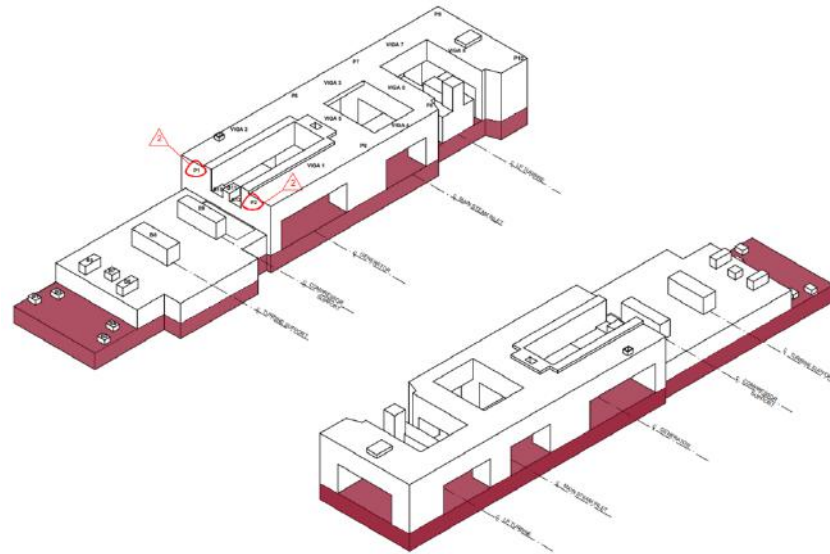
Os mesmos não foram anexados devido a pedido do cliente, mas foram citados aqui para conhecimento e melhor entendimento do surgimento dos dados.

Como por exemplo, especificações de execução, como:

- aplicação do concreto em camadas de 30 cm de espessura em áreas que permita o retorno das camadas subsequentes sem ocasionar juntas frias;
- acabamento da base nos pontos onde não terão outras etapas, será desempenado com *float* de aço;

Entre outros pedidos executivos e de acabamento solicitados pelo cliente.

Figura 6 – Esquema representativo da base concretada



Fonte: arquivo pessoal, 2022

4.3 Apresentação das atividades antes da concretagem

Dentre as atividades que foram realizadas temos, como principal e de maneira simplificada, na devida ordem de execução:

- escavação;
- compactação da base;
- realização do concreto magro (concreto de baixa resistência para impedir perda de água para o solo);
- montagem da forma (modelo SL 2000, como a da imagem a seguir, fornecida pela empresa Mills);

Figura 7 – Formas, modelo SL 2000 da Mills



Fonte: Mills, 2022

- corte, dobra, posicionamento e montagem da armação;

Figura 8 – Montagem da armação



Fonte: Arquivo pessoal, 2020

Figura 9 – Montagem da armação



Fonte: Arquivo pessoal, 2020

- verificação do: alinhamento, prumo, nível, marcação da cota de parada do concreto (topografia, ver **Figura 10**);

Figura 10 – Estação total utilizada para conferências de topografia



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

- aprovação para concretagem;
- concretagem;
- cura;
- desforma;

- acabamento.

4.4 Atividades e considerações para o dia da concretagem

A concretagem foi marcada para o dia 10/12/2020, mas antes da concretagem é importante o planejamento e preparo das atividades a serem realizadas no dia, como:

- as refeições que serão realizadas das 11h00min às 12h30min no primeiro turno e para o segundo turno: um lanche às 19hs e o jantar das 23h00min às 00h00min (atividade extremamente importante para recuperação dos colaboradores devido à fadiga e intensidade do serviço);
- iluminação noturna que foi feita por meio de refletores e/ou torres de iluminação suficiente à demanda;
- as atividades contaram com uma equipe de manutenção das instalações e logística disponível;
- o concreto que foi suprido por duas centrais dosadoras de concreto localizadas na cidade de Macaé, com distâncias e trajetos especificados neste TCC, com capacidade de armazenagem de cimento para atendimento do consumo necessário para a concretagem em sua totalidade, porém foram mantidas mais duas carretas de cimento, com aproximadamente 70 t, que ficaram de *stand by* para caso de emergência;
- o concreto foi lançado através de duas bombas lança de 32m e uma bomba estacionária ficou de *stand by*, caso acontecesse algo inesperado.

4.5 Previsão do Tempo

É de grande importância também a análise e preparo com relação ao clima no dia da concretagem e nos dias após a mesma, já que esse fator não afeta apenas o desempenho e produtividade da equipe, mas também agentes como: alta temperatura, baixa umidade relativa e velocidade do vento podem prejudicar a qualidade do concreto fresco ou endurecido. (Mehta & Monteiro, 2008)

Neste caso, o tempo estava nublado e com chuvas leves, que não só ajudaram no que diz respeito ao desgaste dos funcionários devido à temperatura amena, mas a chuva leve ajudou na umidificação da forma e ajudou na diminuição do gradiente térmico e na cura do concreto.

Figura 11 – Dados do clima no dia da concretagem



Fonte: Climatempo, 2020.

4.6 Plano logístico

4.6.1 Trajeto usina-obra

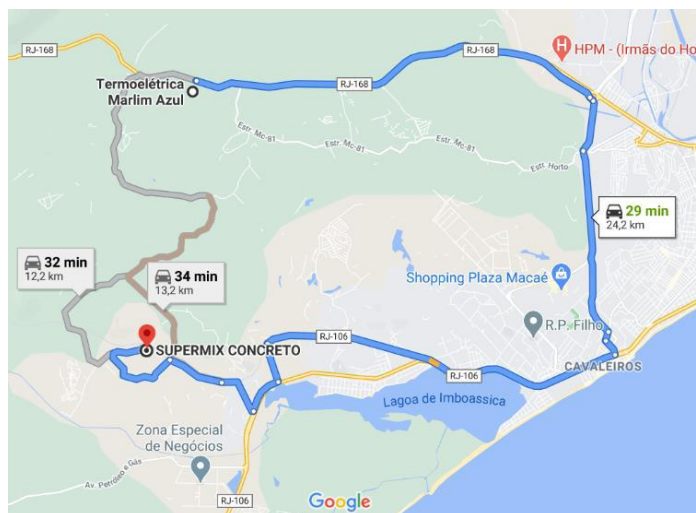
As duas centrais que forneceram o concreto têm capacidade de produção efetiva de 80m³/hora, sendo 40 m³/hora por central, sendo elas a Supermix Macaé e a Polimix Macaé, as quais seguem a localização abaixo com seus respectivos trajetos para o ponto de lançamento.

A empresa Supermix foi responsável pelo contrato, bem como pelo traço aprovado e todos os seus componentes, já a Polimix atuou como parceira da Supermix para assim atingir a demanda solicitada.

Para uma maior segurança, foram estudados 02 caminhos Usina – Obra para cada uma das Usinas, como pode ser visto a seguir:

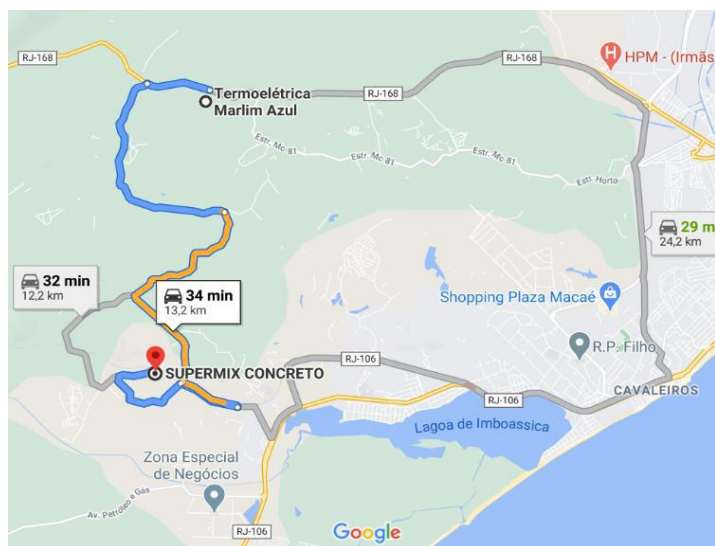
- Central Dosadora 1 – Supermix- Estrada Projetada 3 - Setor 1 A, 55. Imboassica - CEP: 27925-540

Figura 12 – Primeiro trajeto - Supermix / Obra



Fonte: Google Maps, 2020.

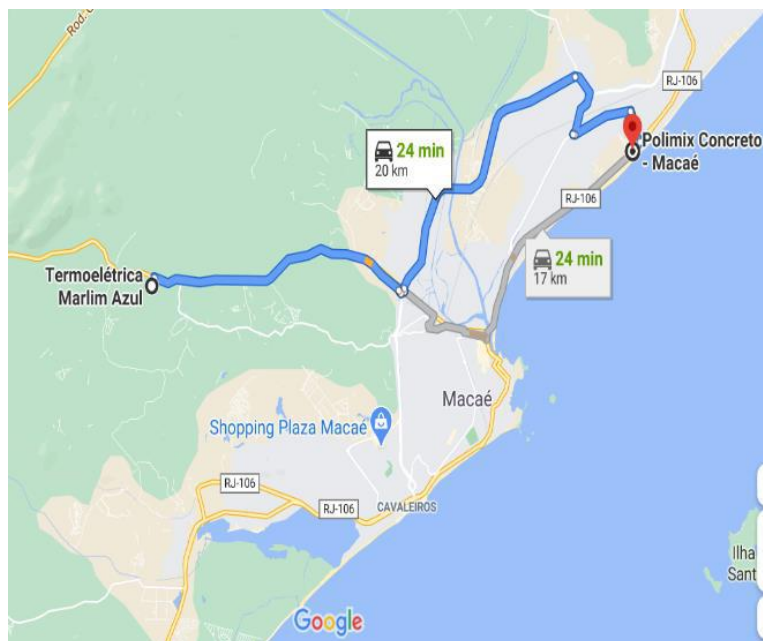
Figura 13– Segundo trajeto - Supermix / Obra



Fonte: Google Maps, 2020.

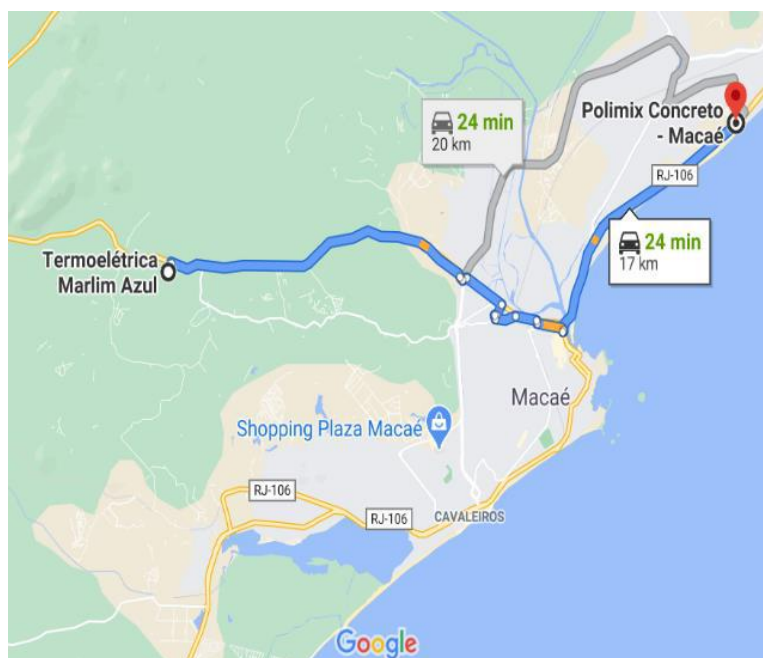
- Central Dosadora 2 – Polimix Concreto – Macaé - Rod. Ernani do Amaral Peixoto, Km 181
- S/N - Cabiúnas, Macaé - RJ, 27970-020

Figura 14 – Primeiro trajeto - Polimix / Obra



Fonte: Google Maps, 2020.

Figura 15 – Segundo trajeto - Polimix / Obra



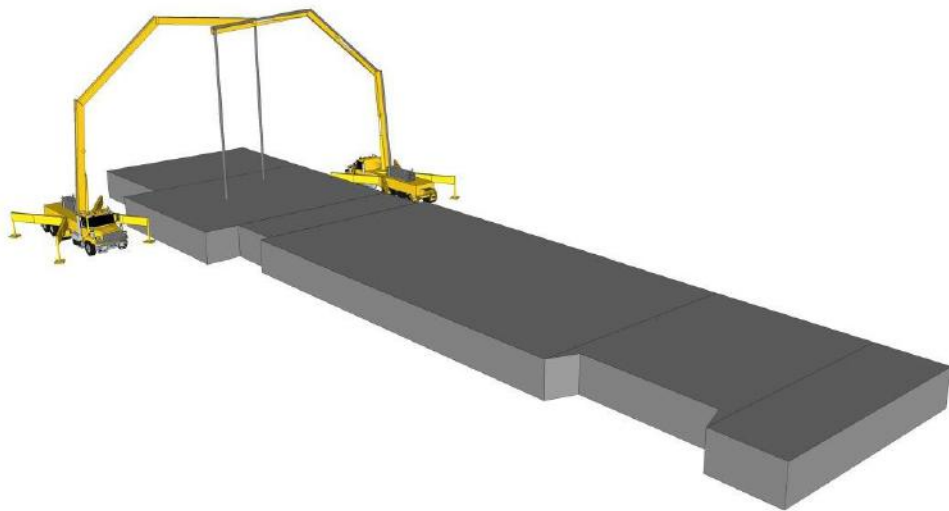
Fonte: Google Maps, 2020.

Nos dois casos o caminho escolhido foi o primeiro trajeto, o mais rápido, não só pelo tempo de chegada, mas também pelas condições das rodovias e avenidas serem superiores pelo caminho mais rápido.

4.6.2 Posicionamento da betoneira e bomba

Devido à magnitude da concretagem e para ter maior agilidade, foi decidido que seriam utilizados 02 caminhões bombas. A ilustração abaixo tem como objetivo mostrar a disposição dos dois equipamentos que fizeram parte da concretagem da base, um de cada lado da peça para assim dividi-la ao meio e acelerar o processo de lançamento.

Figura 16 – Ilustração do posicionamento das bombas para lançamento do concreto



Fonte: arquivo pessoal, 2022.

4.6.3 Dosagem de gelo

O traço fornecido pela concreteira Supermix é apresentado a seguir, e atende solicitações como: resistência a compressão e trabalhabilidade.

Figura 17 – Carta traço do concreto

Características do Concreto			
Resistência Caract. (FCK) :	30.00 Mpa	Consistência "Slump Test" :	10+/-2 cm
Média de Dosagem :	28 Dias	Diâmetro Máximo do Agregado :	19.00 mm
		Relação água/cimento:	0.500 lt/kg
		Tipo de Lançamento :	Bombeável
Descrição do Serviço:	122020.TC.30,0FCK.AC=0,500.B.B1.GN.CP III RS.28D.10+-2		
Agregados Utilizados			
Insumos			Densidade Real
AGREGADO MIÚDO	AREIA NATURAL CAVA MEDIA		2.632 Kg/dm ³
AGREGADO MIÚDO	AREIA ARTIFICIAL GNAISSE MEDIA		2.674 Kg/dm ³
AGREGADO GRAÚDO	BRITA GNAISSE 1		2.660 Kg/dm ³
Traço Unitário em Peso			
Traço em Peso :	1:1,473:0,794:2,631:0,500		
Consumo de Materiais por Metro Cúbico de Concreto			
Insumos		Peso/m ³	Coef. Volumétrico
CIMENTO	CP III RS 40	374.00 kg	
AGREGADO MIÚDO	AREIA NATURAL CAVA MEDIA	551 kg	0.356 m ³
AGREGADO MIÚDO	AREIA ARTIFICIAL GNAISSE MEDIA	297 kg	0.229 m ³
AGREGADO GRAÚDO	BRITA GNAISSE 1	984 kg	0.662 m ³
ADITIVO	CLARENA MR4210 GRACE POLIFUNCIONAL	3.179 kg	2.706 lt
AGUA		187.00 lt	

Fonte: Supermix, 2020.

Dentre outros, alguns dados importantes do traço definido são: resistência do concreto depois de 28 dias = 30 Mpa e a consistência (medida pelo Slump Test) = 10 +- 2 cm.

O concreto foi dosado com 43 % da água integrante do traço por gelo, totalizando 80 Kg /m³. O total foi de 640 Kg de gelo por caminhão betoneira com capacidade de 8,0 m³.

Além do gelo usado nos caminhões, também foi adicionado gelo na caixa de água das concreteiras um dia antes do concreto para resfriar a água de amassamento.

4.6.4 Método de carregamento do gelo

O gelo foi previamente armazenado em um container frigorífico alimentado por um gerador e abastecido por vários caminhões de gelo ao decorrer da concretagem. Durante seu uso, foi colocado em bolsões tipo “big bag”, pesados e suspensos por caminhão *munck* para serem inseridos ao balão do caminhão betoneira.

Figura 18 – Container frigorífico utilizado na obra com gelo



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Assim que posicionado o “*big bag*”, o ponto de escoamento é aberto manualmente por colaborador posicionado na plataforma, lateralmente a carga e atracado por cinto de segurança, como mostrado nas imagens a seguir:

Figura 19 – Passo a passo do despejo de gelo na betoneira



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

4.6.5 Previsão de carregamento e aplicação de concreto por usina

Com a experiência ganha em concretagens anteriores realizadas na termoeétrica, e com auxílio de alguns dados fornecidos pelas usinas de concreto, podemos calcular o ciclo de cada caminhão betoneira, como mostrado a seguir:

Quadro 1 – Cálculo de tempo para chegada de um caminhão da usina até a obra

CENTRAL DOSADORA 1		CENTRAL DOSADORA 2	
Usina 1 - capacidade	60 m ³ /h	Usina 2 - capacidade	60 m ³ /h
Usina 1 - efetivo	40 m ³ /h	Usina 2 - efetivo	40 m ³ /h

CICLO CAMINHÕES		CICLO CAMINHÕES	
Tempo ciclo	T(min.)	Tempo ciclo	T(mi n.)
Carga Usina	12	Carga Usina	12
Mistura	10	Mistura	10
Trajeto Ida	30	Trajeto Ida	30
Dosagem gelo	10	Dosagem gelo	10
Derretimento gelo	10	Derretimento gelo	10
Slump Test	5	Slump Test	5
Lançamento	10	Lançamento	10
Trajeto retorno	30	Trajeto retorno	30
Reposicionamento	3	Reposicionamento	3
	12		
Tempo Ciclo Total	0	Tempo Ciclo Total	120

Fonte:arquivo pessoal, 2020.

Como o resultado do ciclo dos caminhões foi de 120 minutos, e como foi considerado um volume efetivo de cada usina de 40 m³ por hora, cada caminhão só é capaz de realizar uma viagem a cada 2h. Mediante esses valores serão necessários 10 caminhões, totalizando 80m³ de capacidade de caminhões (cada caminhão carrega 8m³) que saem com um intervalo entre eles por usina para alcançar o valor máximo de produção da usina e ainda ter uma folga de segurança, totalizando então 20 caminhões nas duas usinas, para a concretagem.

Logo, para concretagem de 1416,30 m³ com uma taxa de concretagem de 80 m³/h (40m³/h por usina), foram necessárias: 17h e 42 min.

Dessa forma, o tempo total onde foi considerado o início do lançamento do primeiro caminhão as 07h00min da manhã do dia 10/12/20, e o término às 03h46min do dia 11/12/2020 foi de 20h e 46min de concretagem, já considerando às 3h para o almoço, lanche e jantar.

Para que essa programação fosse possível, as usinas de concreto iniciaram suas atividades às 05h00min horas.

4.7 Quantidade de mão-de-obra

Para uma operação deste porte, a empresa contou com um grupo de funcionários selecionados, já com experiências prévias de obras de grande porte, e os separou em dois turnos iguais, como mostrados a seguir:

Figura 20 – Quantidade e funções da mão de obra por turno

1º Turno - 06:00hs às 18:00hs	2º Turno - 18:00 às 04:00hs
> Engenheiro civil – 02	> Engenheiro civil – 02
> Encarregado de obras – 02	> Encarregado de obras – 02
> Motorista de betoneira – 22	> Motorista de betoneira – 22
> Mestre de Obra - 01	> Mestre de Obra - 01
> Operador de bomba lança – 02	> Operador de bomba lança – 02
> Ajudantes de bomba – 2	> Ajudantes de bomba – 2
> Pedreiro – 04	> Pedreiro – 04
> Carpinteiro – 02	> Carpinteiro – 02
> Armador – 03	> Armador – 03
> Ajudante geral – 03	> Ajudante geral – 03
> Vibradoristas - 10	> Vibradoristas - 10
> Moldador de corpo de prova – 02	> Moldador de corpo de prova – 02
> Engenheiro de laboratório – 01	> Engenheiro de laboratório – 01
> Técnico de laboratório Concreteira – 01	> Técnico de laboratório Concreteira – 01
> Engenheiro <u>Supermix</u> – 01	> Engenheiro <u>Supermix</u> – 01
> Dosador de gelo – 08	> Dosador de gelo – 08
> Operador de caminhão <u>munk</u> - 02	> Operador de caminhão <u>munk</u> - 02
> Técnico de Segurança - 01	> Técnico de Segurança - 01
> Sinalizador - 01	> Sinalizador - 01
> Motorista - 1	> Motorista - 1
> Eletricista - 1	> Eletricista - 1

Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Com 70 funcionários no primeiro turno e 70 no segundo turno, totalizando 140 funcionários para a realização da concretagem.

As equipes foram separadas e preparadas para cumprir com suas respectivas missões, separadas da seguinte forma por turno:

- recebimento dos caminhões:

1 - Laboratório: 1 engenheiro de laboratório, 1 técnico de laboratório concreteira, 2 moldadores de corpo de prova.

2 - Dosagem de gelo: 8 dosadores de gelo e 2 operadores de *munck*.

- lançamento:

2 operadores de bomba lança, 2 ajudantes de bomba e 22 motoristas de betoneira.

- vibração e acabamento:

4 pedreiros, 3 ajudantes gerais e 10 vibradoristas.

- suporte:

2 carpinteiros, 3 armadores, 1 técnico de segurança, 1 sinalizador, 1 motorista e 1 eletricitista.

- supervisão:

2 engenheiros, 1 mestre de obra e 2 encarregados.

4.8 Equipamentos

Alguns equipamentos se fazem de extrema importância para a concretagem, como:

- Central dosadora de Concreto – 02 - capacidade 40 m³/hora (efetivo) x 2 – 80 m³/hora
- Bomba lança 32m – 02 – capacidade de lançamento de 60 m³/hora por bomba.
- Bomba lança estacionaria (reserva) – 01 – capacidade de lançamento de 60 m³/hora.
- Caminhão betoneira de 8,0 m³ – 22
- Conjunto motor vibrador – 20
- Mangote vibrador 60mm – 4
- Mangote vibrador 45mm – 8
- Mangote vibrador 35mm – 6
- Mangote vibrador 20mm - 4
- Iluminação através de refletores – 16
- Caminhão pipa – 01
- Caminhão *munck* – 02
- Forma Corpo de prova – 374

- Forma Prismática - 03
- Conjunto *Slumptest* – 02
- Termômetro – 02

4.9 Comunicação durante a concretagem

A comunicação interna da obra foi de grande importância, não só para alinhamento da equipe e difusão de informação, mas também para a segurança da operação. A mesma foi realizada por meio de rádios comunicadores e telefones celulares. Alguns contatos são do Engenheiro Residente, Gerente de Obras, Engenheiro de Qualidade, Técnico de segurança, mestre de obra, encarregados, entre outros contatos do cliente, como Engenheiros de Obra, Gerente e técnicos de qualidade e segurança e responsáveis pelas usinas de concreto.

Figura 21 – Foto do rádio utilizado



Fonte: arquivo pessoal, 2022.

4.10 Qualidade

O Controle da Qualidade compreendeu-se no monitoramento: térmico e de trabalhabilidade, no controle da resistência à compressão (total) e no ensaio à tração (parcial).

A temperatura de lançamento do concreto foi controlada com a adição de gelo na proporção de 43% da água definida pelo traço, colocado nos caminhões no recinto da obra próximo ao local de lançamento. A partir do momento da colocação do gelo, foram considerados 10 minutos para garantir o derretimento total do gelo e após esse tempo foi feito o *slump* teste e medição de temperatura com auxílio de termômetro laser. A temperatura do concreto no momento do lançamento tinha que estar no máximo a 22°C para que no pico chegasse ao máximo de 70°C. Dessa forma, o diferencial térmico não geraria uma tensão de tração maior que a resistência a tração. Lembrando que a porcentagem do gelo pode ser alterada de acordo com a temperatura ambiente.

Posteriormente, o monitoramento térmico foi feito por termômetro digital, devidamente aferido, com medição 3x vezes ao dia, durante sete dias ou até que a diferença de temperatura entre o concreto e o ambiente fosse inferior a 10°C. A temperatura alcançada no centro da peça foi monitorada por meio de quatro termômetros inseridos na peça de concreto e medidos com o aparelho mostrado abaixo:

Figura 22 – Termômetro de monitoramento da temperatura do concreto



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

O controle da resistência à compressão para determinação do *Feature Compression Know* (FCK) foi realizado por amostragem TOTAL (moldagem de 02 corpos de prova por caminhão, de todos os caminhões, para rompimento com a idade de 28 dias, e de lotes de 10 em 10 caminhões foi retirado um 3º corpo de provas para rompimento com a idade de 07 dias).

Os corpos de prova para controle da resistência deverão ser obtidos de concreto amostrado no terço médio, ou preferencialmente na metade do volume do caminhão betoneira.

Figura 23 – Corpos de prova em cura úmida após a concretagem



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

O controle da resistência à tração foi realizado por amostragem PARCIAL com 01 corpo de prova a cada 480m³.

4.10.1 Relatório, laudos e certificados pré-concreto

Alguns dos relatórios, laudos e certificados que são inerentes ao Concreto e ao Plano de Concretagem, devem ser adquiridos ou conferidos para um bom controle de qualidade. Após isso, devem ser anexados e enviados ao CONTRANTE a fim de comprovar a qualidade e gerar confiança e segurança no serviço, como alguns listados abaixo:

- certificado de qualidade do agregado miúdo: AREIA ARTIFICIAL JUNDIÁ;
- certificado de qualidade do agregado graúdo: Los Angeles - Brita 0 – JUNDIÁ e Los Angeles - Brita 1 – JUNDIÁ;
- certificado de qualidade do concreto: CPIII40RS Granel – SCZ;
- cálculo térmico;
- calor de hidratação do cimento;
- carta traço do concreto.

4.10.2 Cálculo térmico

De acordo com o cálculo térmico, a temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) prevista é igual a $66,0^{\circ}\text{C}$, com margem para 4° acima conforme previsão do projeto.

Caso houvesse uma queda de temperatura do concreto de $70,0^{\circ}\text{C}$ para 38°C , entre o terceiro e o sétimo dia, o concreto fissuraria devido à tensão de tração gerada pelo diferencial térmico ser bem maior do que a sua resistência à tração.

Para conseguir esses limites de temperatura foi necessário lançar o concreto entre 18 e 22°C .

Figura 24 – Içamento do gelo com *munck* para mistura no caminhão betoneira



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

O controle de temperatura inicial foi realizado pelo engenheiro responsável, com auxílio de um termômetro laser devidamente aferido.

O controle de temperatura final foi feito e registrado pelo período de 07 dias a partir da concretagem da base, em 04 pontos da parte interna do concreto, onde se deixou, dentro do concreto 4 termômetros dentro da base.

4.11 Segurança, meio ambiente e saúde

4.11.1 Segurança

Antes da execução das atividades, foi elaborada a Análise Pré Tarefa (APT) que foi divulgada a todos os envolvidos. Para a execução das atividades, os Equipamentos de Proteção

Individual (EPI): capacetes, óculos de proteção, luvas, protetor auricular, botas com bico de aço, cinto de segurança para trabalho em altura, entre outros e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC): extintores de incêndio, sinalizador de segurança, redes de proteção, kit de primeiros socorros, entre outros itens necessários foram utilizados e aplicados como indicado e definido pela área de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS).

Os equipamentos utilizados nas atividades foram conferidos para comprovar que estavam em boas condições de uso e adequadamente instalados, de forma a prevenir choques, quedas, ou qualquer outro tipo de acidente.

4.11.2 Meio Ambiente

Todas as atividades que implicaram em geração de resíduos e/ou emissão de poluentes foram reconhecidas e planejadas a fim de evitar impactos ambientais de qualquer natureza e/ou gravidade. O gerenciamento de resíduo foi aplicado, garantindo que fossem adotadas as respectivas medidas de coleta, armazenagem e destinação.

Procuraram-se manter sempre limpo e organizado as áreas de trabalho e adjacentes aos locais dos trabalhos. Todos os resíduos gerados foram recolhidos em recipientes adequados, e manteve-se a área de trabalho perfeitamente limpa e organizada após a realização dos serviços.

Outro cuidado e providência adotada para proteção do meio ambiente observado foi: o material descartado foi removido para locais apropriados, definido pela fiscalização, de forma a preservar as condições ambientais.

Durante a concretagem, foram utilizadas lonas embaixo da área de carregamento do concreto no caminhão bomba para não contaminação do solo, com restos que podem cair ao retirar provas ou durante o transporte. Também foram realizados *checklists* dos caminhões, para determinar se os mesmos possuem algum tipo de vazamento.

4.11.3 Saúde

Manteve-se disponível ao pessoal um recipiente térmico contendo água potável para hidratação oral, e copos descartáveis.

Cada atividade laboral exige aptidões físicas específicas para seu desempenho. É necessário que o profissional seja instruído a respeitar as suas limitações e siga as orientações dos procedimentos de SMS, como ser realizada a aferição de pressão arterial para trabalho em

altura, além da utilização de EPIs específicos para determinadas atividades, como luva antivibração, entre outras instruções passadas pelos técnicos de segurança antes das atividades.

5. Execução

5.1 Ensaios e Acompanhamento do Concreto

O laboratório foi responsável pela realização de todos os ensaios do concreto fresco:

- a) Determinação do abatimento concreto (abatimento de tronco de cone);
- b) Eventuais ajustes de água de amassamento;
- c) Moldagem, proteção e manuseio dos corpos de prova;
- d) Determinação da resistência de corpos de prova;

e) Controle de rastreamento de todas as informações referentes aos serviços de concretagem.

Os ensaios foram realizados com base na norma técnica brasileira vigente, NBR 14931 (2004) com o uso de equipamentos calibrados. Os relatórios emitidos pelo laboratório foram remetidos ao cliente para o conhecimento e acompanhamento.

Para redução da temperatura foi exigido e acompanhado:

- Resfriamento da água de amassamento no reservatório, adicionando gelo;
- Substituição, em peso, de parte da água de amassamento, por gelo;
- Usar aditivo retardador de pega;
- Resfriar os agregados por molhagem;
- Resfriar o “balão” do caminhão betoneira por molhagem.

Ainda, levou-se em consideração também como recomendação que o intervalo de tempo transcorrido entre o instante em que a água de amassamento entra em contato com o cimento e o final da concretagem não pode ultrapassar 2h 30min, o que pode ainda diminuir se a temperatura for muito elevada ou se existir alguma condição que contribua para acelerar a pega do concreto. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14931: Execução de estruturas de concreto: Procedimento, 2004)

5.2 Lançamento do concreto

Como o início da pega representa aproximadamente o momento em que o concreto fresco não pode mais ser adequadamente misturado lançado e compactado, onde a resistência começa a se desenvolver a uma taxa significativa, o mesmo deve ser lançado e misturado antes de isso acontecer. (Mehta & Monteiro, 2008).

Um dos pontos mais importantes na hora do lançamento foi, portanto, a concretagem em camadas, onde se foram concretando camadas de, em média 20 cm, variando ao longo da peça, fazendo caminhos de vai e volta até atingir a altura final da peça (ver Figura 26). Com isso seria minimizado o potencial de problemas por calor de hidratação, auxiliando significativamente na dissipação do calor e evitando, com isso, o aumento excessivo de temperatura do concreto em suas partes mais ao centro e poderia se garantir a concretagem de uma estrutura monolítica (concretagem única, que melhora a distribuição de esforços).

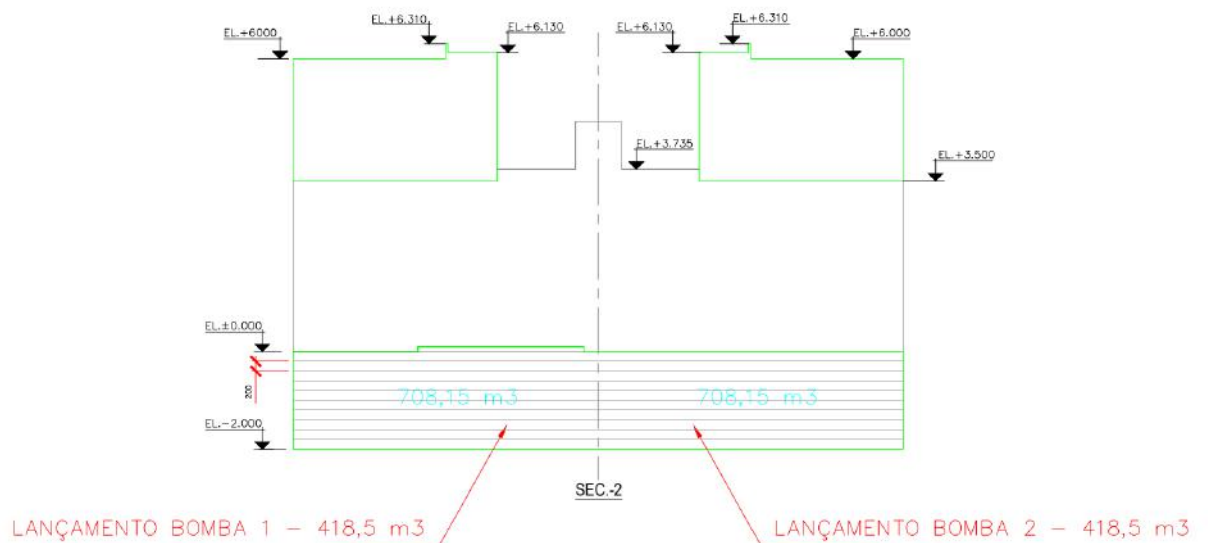
Figura 25 – Vista superior da peça antes da finalização



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Se por algum problema ocorressem às juntas de concretagem geradas entre as camadas, tendo em vista que elas se situam perpendicular à direção do esforço de compressão no bloco, decorrente do descarregamento dos equipamentos, assumiu-se que se elas acontecessem não seriam consideradas críticas, ou seja, elas não representariam maiores problemas quanto ao funcionamento mecânico-estrutural do bloco.

Figura 26 – Camadas de 20cm em uma seção da peça de altura total 2m



Fonte: arquivo pessoal, 2022.

5.3 Adensamento de concreto

Depois de realizada a etapa de adição, mistura e derretimento do gelo, determinado o abatimento do concreto, medida sua temperatura de lançamento e iniciado o lançamento, é importante lembrar-se de uma etapa tão evidenciada nas normas técnicas: o adensamento do concreto, como recomendações da norma ABNT NBR 14931:2004 item 9.6.2 e livros sobre o tema. Deve-se saber da interferência sensível nas características e propriedades finais do concreto.

Neste caso a mesma foi feita por meio da inserção de vibradores mecânicos com diferentes diâmetros de ponteiros (ver Quadro 2) para as diferentes taxas de aço (quantidade de aço) na massa de concreto, de maneira a não faltar energia à mistura e provocar o aparecimento de vazios, e tomando cuidado para não vibrar em excesso e provocar a separação dos elementos (segregação), seguindo as seguintes recomendações.

Figura 27 – Concretagem da base da turbina



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Algumas das recomendações seguidas na execução foram:

- Durante e imediatamente após o lançamento, o concreto ser vibrado ou apiloado contínua e energicamente com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento devia ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos das fôrmas;
- Deviam ser tomados os cuidados necessários para que não se formem ninhos ou haja a segregação dos materiais. Evitou-se a vibração da armadura para que não se formassem vazios ao seu redor, com prejuízos da aderência;
- Tanto a falta como o excesso de vibração são prejudiciais ao concreto e para isso tomou-se os seguintes cuidados durante o adensamento com vibradores de imersão:
 - Preferencialmente aplicar o vibrador na posição vertical;
 - Vibrar o maior número possível de pontos ao longo do elemento estrutural;
 - Retirar o vibrador lentamente, mantendo-o sempre ligado, a fim de que a cavidade formada pela agulha se feche novamente;
 - Não permitir que o vibrador entre em contato com a parede da fôrma, para evitar a formação de bolhas de ar na superfície da peça, mas promover um adensamento uniforme e adequado de toda a massa de concreto, observando cantos e arestas, de maneira que não se formem vazios;
 - Mudar o vibrador de posição quando a superfície se apresentar brilhante.

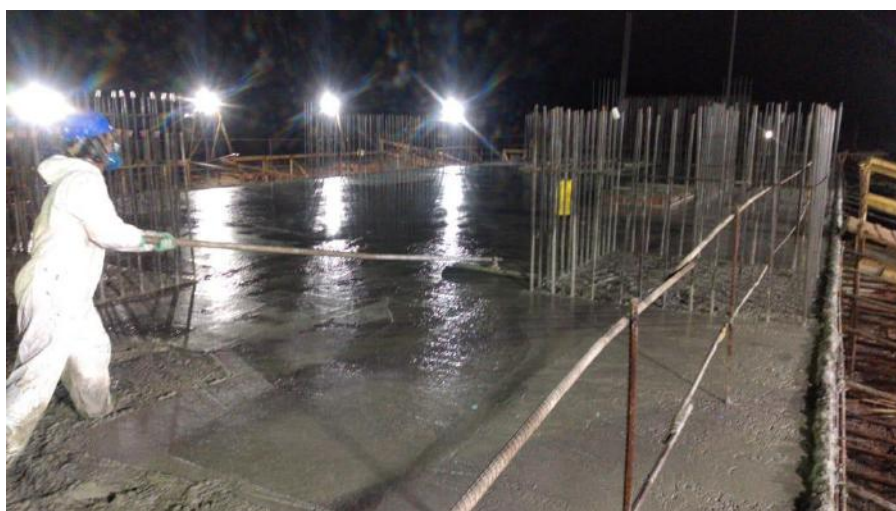
Quadro 2 – Distância entre pontos de vibração para cada diâmetro de agulha

Diâmetro (ϕ) da agulha (mm)	Distância entre pontos de vibração (cm)
20	15
35	18
45	28
60	35

Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Obs.: o tempo de imersão deve ser de 5 a 15 segundos, podendo ser maior de acordo com a consistência do concreto. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14931: Execução de estruturas de concreto: Procedimento, 2004)

Figura 28 – Realização do acabamento do concreto da base da turbina



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

5.4 Cura do concreto

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes para:

- Evitar a perda de água pela superfície exposta;
- Assegurar uma superfície com resistência adequada;
- Assegurar a formação de uma capa superficial durável.

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14931: Execução de estruturas de concreto: Procedimento, 2004)

Elementos estruturais de superfície devem ser curados logo após o início de pega, pois é nesse momento que a hidratação do concreto se desenvolve com grande velocidade e é nesse momento que a água começa a sair e evaporar pelos poros do material, comprometendo a reação de hidratação e gerando retrações maiores que o normal quando não curado devido a diminuição do volume do mesmo. (Carvalho & Rodrigues, 2017)

Levando isso em consideração, foi executada uma cura química com o auxílio de Bomba Costal, que fez a aspersão da Cura Química inicialmente, e posteriormente foi feita uma barreira com massa de cimento, para formar uma piscina com uma lâmina de 5 cm de água para cura úmida, a qual foi substituída 3 vezes ao dia para ajudar no resfriamento do concreto.

Figura 29 – Cura úmida com lâmina d'água da base da turbina



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

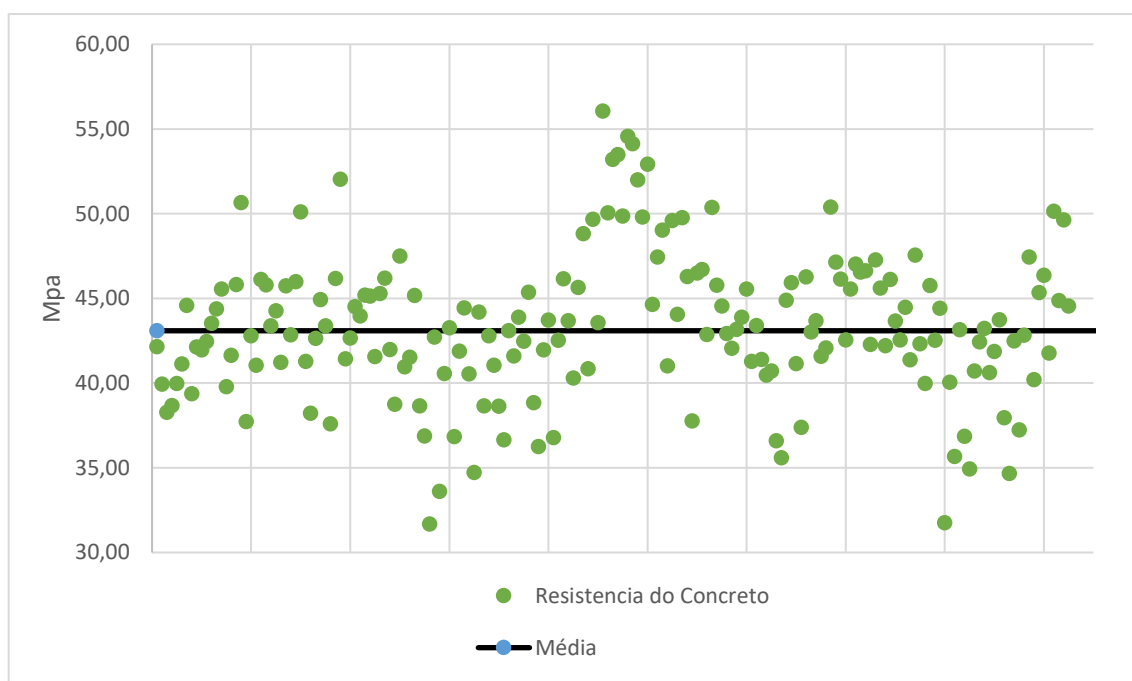
6. Resultados

Com tantos caminhões de concreto durante a concretagem foram coletadas muitas informações para relatórios e ensaios como: horários dos percursos dos caminhões para

controlar o tempo até o lançamento, a temperatura de lançamento do concreto para confirmar a encontrada nos cálculos em projeto e a trabalhabilidade no lançamento para garantir a relação água cimento adequada (ver Anexos A e B). Essas informações garantem a confiabilidade e controle tecnológico da concretagem, rastreando e validando todas as informações importantes de se coletar dos caminhões de concreto.

Com essas informações em mãos, podemos fazer um gráfico de dispersão ao redor da média dos resultados dos rompimentos máximos de 28 dias, para entender melhor a nossa amostra. (ver Figura 30)

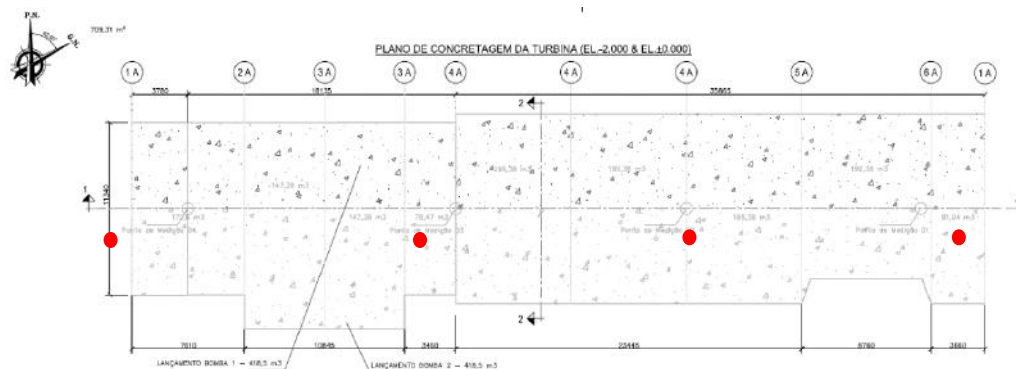
Figura 30 – Gráfico de dispersão da resistência dos corpos de prova



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Outras informações, agora coletadas após a concretagem são as variações de temperatura dentro da peça concretada (ver Figura 31 e Quadro 3).

Figura 31 – Pontos de medições de temperatura do concreto da base da turbina



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Quadro 3 – Temperatura nos 4 pontos de medição dentro da estrutura durante 7 dias

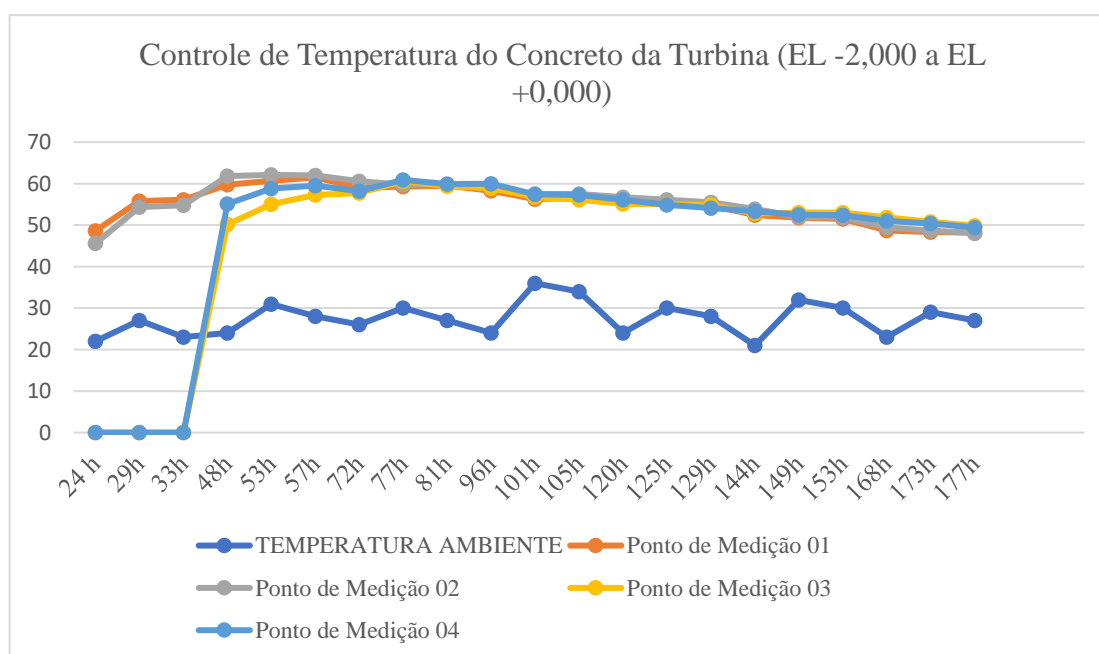
DIAS	HORAS	TEMPERATUR A AMBIENTE	Ponto de Medição 01	Ponto de Medição 02	Ponto de Medição 03	Ponto de Medição 04
11/12/20	7:00	22,00 °	48,60 °	45,60 °	-	-
	12:00	27,00 °	55,80 °	54,30 °	-	-
	19:00	23,00 °	56,10 °	54,80 °	-	-
12/12/20	7:00	24,00 °	59,70 °	61,80 °	50,20 °	55,10 °
	12:00	31,00 °	60,70 °	62,10 °	55,00 °	58,80 °
	19:00	28,00 °	61,50 °	62,00 °	57,30 °	59,50 °
13/12/20	7:00	26,00 °	59,00 °	60,60 °	57,70 °	58,20 °
	12:00	30,00 °	59,30 °	59,70 °	60,60 °	60,90 °
	19:00	27,00 °	59,50 °	59,80 °	59,40 °	59,90 °
14/12/20	7:00	24,00 °	58,30 °	58,90 °	58,90 °	60,00 °
	12:00	36,00 °	56,30 °	57,50 °	56,70 °	57,40 °
	19:00	34,00 °	56,60 °	57,50 °	56,10 °	57,30 °
15/12/20	7:00	24,00 °	55,50 °	56,70 °	55,10 °	56,10 °
	12:00	30,00 °	55,20 °	56,10 °	55,00 °	54,90 °
	19:00	28,00 °	54,70 °	55,50 °	54,90 °	54,10 °
16/12/20	7:00	21,00 °	52,40 °	53,90 °	52,80 °	53,30 °
	12:00	32,00 °	51,80 °	52,00 °	53,00 °	52,50 °
	19:00	30,00 °	51,50 °	51,80 °	53,00 °	52,40 °
17/12/20	7:00	23,00 °	48,70 °	49,40 °	51,90 °	51,00 °

	12:00	29,00 °	48,30 °	48,70 °	50,80 °	50,40 °
	19:00	27,00 °	48,20 °	48,00 °	49,90 °	49,40 °

Fonte: arquivo pessoal, 2022.

Com essas informações foi feito um gráfico demonstrando a queda de temperatura ao longo dos dias, onde se pode observar uma tendência de queda linear e contínua, que quando comparada aos limites estabelecidos pelo cálculo térmico, mostra o sucesso da concretagem e do controle de temperatura (Ver Figura 32), haja vista que a temperatura máxima de cálculo era $66+4$ °C e a condição de resfriamento era não cair para menos de 35°C até o sétimo dia.

Figura 32 – Gráfico de decréscimo da temperatura nos 7 dias após a concretagem



Fonte: arquivo pessoal, 2020.

De acordo com o cálculo térmico a temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) prevista é igual a $66,0^{\circ}C$, com margem para 4° acima, conforme previsão do projeto. Caso haja uma queda de temperatura do concreto de $70,0^{\circ}C$ para $35^{\circ}C$, entre o terceiro e o sétimo dia, o concreto fissurará devido à tensão de tração gerada pelo diferencial térmico ser bem maior do que a sua resistência à tração.

Para conseguir esses limites de temperatura foi necessário lançar o concreto a uma temperatura entre 18 e $23^{\circ}C$.

7. Conclusão

O presente estudo demonstrou que foram inúmeros os ganhos de conhecimento e aprendizado adquiridos durante este projeto, os quais puderam ser evidenciados pelo sucesso da concretagem.

Um ponto a ser evidenciado foi a importância do planejamento, o qual permitiu uma concretagem sem contratemplos, tendo em vista que outro concreto realizado na base da caldeira havia sido executado com proporções bem menores e serviu de exemplo para garantir o maior entendimento do processo e evidenciar possíveis falhas não consideradas.

Ainda no planejamento podem-se listar alguns itens relevantes, como: o conhecimento e preparo das atividades a serem executados antes do concreto, o planejamento das atividades e a importância de fatores que não possuem relação com engenharia civil ou concreto, mas que representaram vital importância no planejamento como as paradas para almoço, lanche e jantar, o plano logístico (o qual foi de grande valia para efetuar o cronograma da concretagem e preparar inúmeros outros pontos), o treinamento e simulação do carregamento e preparo do caminhão com gelo, a estimativa da mão de obra (que devido a dedicação e preparo de todos os envolvidos foi satisfatória, sem sobrecarga dos funcionários), a disponibilidade dos equipamentos necessários para realização da tarefa e a facilidade de comunicação durante o dia da concretagem e antes da mesma (para um envolvimento de todos na soluções de problemas).

Pode-se ainda ressaltar o clima para concretagem, de forma que o clima nublado e com chuvisco não só ajudou na cura, mas também tornou o trabalho muito menos desgastante, sendo o diferencial para executar um trabalho com cuidado na qualidade final da estrutura.

Durante a execução, por outro lado, a importância dos treinamentos em procedimentos operacionais, a facilidade de comunicação para democratização das informações e técnicas e a ajuda dos profissionais com experiência foram evidenciados durante a concretagem, resultando em um trabalho onde todos já estavam preparados e sabiam o que fazer. Além disso, um dos pontos mais importantes a ser citado como aprendizado, o qual deve ser evidenciado, é a importância do cumprimento de procedimentos e respeito às normas para a realização de qualquer concretagem, principalmente em estruturas deste porte, na quais qualquer erro pode gerar prejuízos extremamente onerosos à empresa.

As normas e literaturas sobre o tema foram de grande importância para a realização desta estrutura, as quais pavimentam o caminho a ser trilhado, com anos de experiência, aprendizados e estudos de inúmeros especialistas do tema, além do desenvolvimento da matemática para com ajuda do método de elementos finitos fosse possível simular o comportamento do material e comprovar a possível realização segura da concretagem. A concretagem foi um sucesso e foi

finalizada sem o surgimento de fissuras superficiais, sendo atingidos os resultados de resistência característica do concreto aos 28 dias e a temperatura de concretagem e resfriamento no decorrer dos 7 dias após a concretagem, obedecendo os valores calculados e decaindo de maneira gradual e lenta, garantindo segurança e evitando assim, o surgimento de fissuras por retração.

Destacam-se como limitações para possíveis futuras concretagens deste porte, a disponibilidade e fornecimento de uma grande taxa de m^3/h por parte das concreteiras, onde neste caso, podem-se utilizar duas usinas para garantir a entrega de concreto, o que pode não ser uma possibilidade para todas as localidades, além do favorecimento do clima no estudo em questão, onde problemas como temperaturas muito altas não foram o caso.

A partir do abordado no estudo, evidencia-se a necessidade de produção, de outros estudos, que demonstrem mais casos e variações no decorrer da concretagem para, assim, desenvolver uma base sólida e confiável para execução deste tipo de serviço de engenharia civil.

É desejado que este projeto seja mais um de muitos outros que virão a ser realizados e este trabalho será deixado como exemplo de uma concretagem bem sucedida, para servir de guia e ajuda para futuras concretagens com uso de gelo para controlar a retração em concreto massa.

Referências Bibliográficas

1. A.M. Neville, & J.J. Brooks . (2013). *TECNOLOGIA DO CONCRETO*. bookman.

2. Araújo, J. M. (2014). *CURSO DE CONCRETO ARMADO*. DUNAS.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004). *NBR 14931: Execução de estruturas de concreto: Procedimento*. Rio de Janeiro.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2014). *NBR 6118 Versão Corrigida 2014: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento*. Rio de Janeiro.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2015). *NBR 5738 Versão Corrigida:2016: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2015). *NBR 8953: Concreto para fins estruturais: Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência*. Rio de Janeiro.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2020). *NBR 16886: Concreto: Amostragem de concreto fresco*. Rio de Janeiro.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2020). *NBR 16889: Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2022). *NBR 12655: Concreto de cimento Portland: Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro.
10. Carvalho, R. C., & Rodrigues, J. d. (2017). *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado segundo a NBR 6118:2004*. Guilherme José Garbuió Martinez.
11. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2008). *Concreto Microestrutura, Propriedades e Materias*. Berkeley: IBRACON.
12. Mattos, A. D. (2019). *Planejamento e controle de obras*. São Paulo: Oficina de Textos.
13. Project Management Institute, e. (2017). *Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)/Project Management Institute*. Project Management Institute, Inc.

ANEXOS

Anexo A

Resultados das medições (tempo, temperatura e trabalhabilidade) antes do lançamento do concreto

DADOS DA CONCRETAGEM						
Nº NF	DATA	Temperatura (°C)	Horários			SLUMP (cm)
			SAÍDA USINA	CHEGADA OBRA	LANÇAMENTO	
34936	10/12/20	20,0 °C	6:03	7:05	7:35	10,5
34937	10/12/20	17,0 °C	6:24	7:10	7:42	12,0
34938	10/12/20	20,0 °C	6:27	7:28	7:58	14,0
34939	10/12/20	19,0 °C	6:37	7:30	8:06	12,0
34943	10/12/20	21,0 °C	7:25	8:05	8:38	12,0
34946	10/12/20	22,0 °C	8:18	9:10	9:47	14,0
34947	10/12/20	19,0 °C	8:29	9:09	9:39	12,0
34942	10/12/20	21,0 °C	7:13	8:25	9:37	12,0
34950	10/12/20	20,0 °C	9:07	9:42	10:10	11,0
34948	10/12/20	23,0 °C	8:40	9:12	10:15	10,0
34951	10/12/20	20,0 °C	9:20	10:00	10:31	12,0
34952	10/12/20	15,0 °C	9:47	10:25	10:57	10,0
34953	10/12/20	16,0 °C	9:55	10:30	10:59	14,0
34954	10/12/20	20,0 °C	10:00	10:40	11:15	10,0
34949	10/12/20	18,0 °C	8:52	9:45	11:18	11,0
34955	10/12/20	19,0 °C	10:17	10:55	11:28	12,0
34956	10/12/20	20,0 °C	10:28	11:01	11:37	12,0
34957	10/12/20	18,0 °C	10:52	11:35	12:05	11,0
34958	10/12/20	19,0 °C	10:54	11:45	12:19	11,0
34961	10/12/20	20,2 °C	11:26	12:10	12:45	11,0
34960	10/12/20	22,0 °C	11:20	12:15	13:06	12,0
34962	10/12/20	22,0 °C	11:39	12:20	12:50	11,0
34963	10/12/20	20,0 °C	11:48	12:20	12:58	10,0

34964	10/12/20	22,5 °C	12:02	13:00	13:46	12,0
34965	10/12/20	20,2 °C	12:12	13:00	13:37	13,0
34966	10/12/20	22,5 °C	12:24	13:15	13:55	12,0
34967	10/12/20	19,4 °C	12:35	13:35	14:02	11,0
34968	10/12/20	22,0 °C	12:48	13:42	14:20	12,0
34969	10/12/20	21,6 °C	13:09	13:50	14:31	12,0
34970	10/12/20	20,9 °C	13:36	14:08	14:49	11,5
34971	10/12/20	20,6 °C	13:43	14:25	14:57	11,0
34973	10/12/20	19,9 °C	14:10	14:45	15:24	13,0
34972	10/12/20	21,8 °C	13:57	14:35	15:27	13,0
34974	10/12/20	19,9 °C	14:22	15:10	15:42	12,0
34975	10/12/20	19,0 °C	14:36	15:25	15:52	11,0
34976	10/12/20	19,6 °C	14:48	15:45	16:15	13,0
34977	10/12/20	20,1 °C	15:00	15:55	16:32	12,0
34979	10/12/20	18,2 °C	15:29	16:10	16:42	13,0
34980	10/12/20	21,9 °C	15:41	16:35	17:22	11,0
34981	10/12/20	19,3 °C	15:53	16:50	17:17	12,0
34982	10/12/20	19,3 °C	16:04	16:44	17:20	11,0
34983	10/12/20	22,3 °C	16:16	17:20	17:59	12,0
34984	10/12/20	21,0 °C	16:40	17:30	18:00	13,0
34986	10/12/20	21,8 °C	17:06	18:10	18:53	12,0
34985	10/12/20	20,9 °C	17:00	18:00	18:44	12,0
34987	10/12/20	21,7 °C	17:17	18:05	18:57	12,0
34988	10/12/20	22,0 °C	17:28	18:10	18:46	11,0
34989	10/12/20	21,0 °C	17:34	18:30	19:18	11,5
34990	10/12/20	20,1 °C	17:46	19:40	19:16	13,0
34991	10/12/20	20,9 °C	18:09	18:55	19:32	12,0
34992	10/12/20	20,6 °C	18:21	19:10	19:40	12,0
34993	10/12/20	20,7 °C	18:37	19:15	19:47	11,0
34994	10/12/20	20,5 °C	18:52	19:40	20:14	13,0
34995	10/12/20	19,8 °C	19:28	20:05	20:35	11,0
34996	10/12/20	20,3 °C	19:43	20:25	20:52	11,5

34997	10/12/20	18,2 °C	19:58	20:40	21:15	12,0
34998	10/12/20	20,5 °C	20:09	20:55	21:34	11,5
34999	10/12/20	19,7 °C	20:21	21:12	21:51	13,0
35000	10/12/20	19,8 °C	20:32	21:20	21:53	12,5
35001	10/12/20	17,7 °C	20:42	21:30	21:59	12,5
35002	10/12/20	19,2 °C	20:59	21:30	22:06	12,0
35003	10/12/20	20,5 °C	21:04	22:40	22:14	10,0
35004	10/12/20	20,0 °C	21:20	22:00	22:26	12,0
35005	10/12/20	20,2 °C	21:29	22:10	22:40	12,0
35007	10/12/20	20,8 °C	22:03	22:50	23:22	12,0
35008	10/12/20	20,8 °C	22:18	23:00	23:35	12,0
35009	10/12/20	19,5 °C	22:31	23:10	23:45	13,0
35010	10/12/20	18,5 °C	22:43	23:20	23:57	12,5
35011	10/12/20	17,4 °C	22:55	23:35	0:01	12,0
35012	10/12/20	20,4 °C	23:10	23:55	0:24	11,0
35013	10/12/20	20,0 °C	23:21	0:02	0:29	12,0
35014	10/12/20	19,7 °C	23:31	0:05	0:30	11,0
35015	10/12/20	21,3 °C	23:44	0:12	0:45	12,0
35016	10/12/20	22,1 °C	23:48	0:30	1:03	12,0
35017	11/12/20	21,0 °C	0:00	0:45	1:26	12,0
35018	11/12/20	21,0 °C	0:19	1:20	1:58	12,0
35019	11/12/20	21,4 °C	0:32	1:20	1:48	12,0
35020	11/12/20	21,0 °C	0:42	1:35	2:04	11,0
35021	11/12/20	21,4 °C	0:54	1:40	2:20	12,0
35022	11/12/20	20,3 °C	1:32	1:55	2:25	12,0
35023	11/12/20	20,6 °C	1:14	2:08	2:35	11,0
35024	11/12/20	19,3 °C	1:44	2:20	2:48	12,0
35025	11/12/20	18,0 °C	1:55	2:37	3:06	12,0
35026	11/12/20	18,2 °C	2:43	3:20	3:59	12,0
35027	11/12/20	18,9 °C	2:52	3:30	4:06	11,0
3127	10/12/20	20,0 °C	6:28	7:00	7:30	12,0
3128	10/12/20	19,5 °C	6:36	7:10	7:36	11,0

3129	10/12/20	18,0 °C	6:50	7:20	7:49	12,0
3130	10/12/20	21,0 °C	6:58	7:27	7:57	12,0
3131	10/12/20	16,0 °C	7:08	7:40	8:08	12,0
3132	10/12/20	18,0 °C	7:17	7:50	8:22	10,5
3133	10/12/20	16,0 °C	7:27	8:10	8:44	12,0
3134	10/12/20	17,0 °C	7:44	8:17	8:50	11,0
3135	10/12/20	18,0 °C	7:56	8:15	8:57	11,0
3136	10/12/20	16,0 °C	8:18	8:50	9:19	10,0
3137	10/12/20	20,0 °C	8:28	8:55	9:23	10,0
3138	10/12/20	22,0 °C	8:39	9:00	9:34	10,0
3139	10/12/20	19,0 °C	8:45	9:15	9:53	11,0
3141	10/12/20	16,0 °C	9:06	9:32	10:02	11,0
3140	10/12/20	20,0 °C	8:56	9:31	10:16	15,0
3142	10/12/20	21,0 °C	9:26	9:55	10:25	14,0
3144	10/12/20	22,0 °C	9:56	10:20	10:49	12,0
3143	10/12/20	15,0 °C	9:40	10:23	10:53	11,0
3145	10/12/20	14,0 °C	9:58	10:34	11:16	14,0
3146	10/12/20	16,0 °C	10:09	10:40	11:19	12,0
3148	10/12/20	17,0 °C	10:21	10:52	11:22	12,0
3147	10/12/20	19,0 °C	10:16	10:45	11:26	12,0
3149	10/12/20	18,0 °C	10:32	11:05	11:32	12,0
3150	10/12/20	15,0 °C	10:40	11:20	11:52	10,0
3151	10/12/20	19,0 °C	10:48	11:25	11:57	11,0
3152	10/12/20	19,0 °C	10:58	11:35	12:00	12,0
3153	10/12/20	21,0 °C	11:13	11:50	12:22	12,0
3154	10/12/20	21,0 °C	11:23	12:00	12:35	12,0
3155	10/12/20	22,0 °C	11:51	12:20	13:02	12,0
3156	10/12/20	21,4 °C	11:57	12:30	13:19	11,0
3157	10/12/20	21,6 °C	12:09	12:40	13:14	11,0
3158	10/12/20	20,0 °C	12:17	12:45	13:16	12,0
3159	10/12/20	21,2 °C	12:24	13:02	13:47	14,0
3160	10/12/20	20,4 °C	12:33	13:10	13:52	14,0

3161	10/12/20	21,4 °C	12:40	13:19	13:57	10,0
3164	10/12/20	22,0 °C	13:06	13:45	14:11	11,0
3163	10/12/20	21,8 °C	12:57	13:35	14:17	14,0
3165	10/12/20	21,9 °C	13:17	14:00	14:33	12,0
3166	10/12/20	17,4 °C	13:39	14:05	14:38	13,0
3167	10/12/20	18,2 °C	14:09	14:39	15:02	11,5
3168	10/12/20	18,0 °C	14:18	14:45	15:29	14,0
3169	10/12/20	21,0 °C	14:25	15:00	15:33	12,0
3170	10/12/20	18,1 °C	14:39	15:05	15:35	12,0
3171	10/12/20	18,2 °C	14:47	15:15	15:44	12,0
3172	10/12/20	18,1 °C	14:57	15:40	16:14	11,0
3173	10/12/20	22,0 °C	15:05	15:44	16:15	12,0
3174	10/12/20	19,4 °C	15:12	15:49	16:20	11,0
3175	10/12/20	20,0 °C	15:23	16:00	16:33	11,0
3176	10/12/20	18,6 °C	15:34	16:05	16:37	12,0
3177	10/12/20	20,3 °C	15:46	16:15	16:46	11,0
3178	10/12/20	19,0 °C	15:55	16:31	17:09	14,0
3179	10/12/20	19,2 °C	16:05	16:40	17:16	13,0
3180	10/12/20	21,2 °C	16:25	16:59	17:42	11,0
3181	10/12/20	20,0 °C	16:31	17:00	17:44	12,0
3183	10/12/20	22,1 °C	16:49	17:20	18:12	11,0
3182	10/12/20	21,1 °C	16:41	17:25	18:13	11,5
3184	10/12/20	22,1 °C	17:06	17:45	18:20	11,0
3185	10/12/20	20,0 °C	17:15	17:55	18:27	11,0
3186	10/12/20	19,8 °C	17:21	18:00	18:29	11,0
3187	10/12/20	20,0 °C	17:34	18:00	18:32	13,0
3188	10/12/20	20,7 °C	17:42	18:30	19:02	12,0
3189	10/12/20	20,1 °C	17:56	18:25	19:07	11,5
3190	10/12/20	20,2 °C	18:03	18:35	19:28	12,0
3191	10/12/20	21,0 °C	18:20	19:00	19:24	11,5
3192	10/12/20	20,0 °C	18:50	19:15	19:44	11,5
3193	10/12/20	19,5 °C	18:59	19:29	19:55	12,0

3194	10/12/20	18,7 °C	19:05	19:35	20:05	12,0
3195	10/12/20	8,8 °C	19:14	19:40	20:06	12,0
3197	10/12/20	18,8 °C	19:32	19:55	20:23	11,5
3198	10/12/20	18,5 °C	19:44	20:15	20:46	14,0
3199	10/12/20	19,1 °C	19:54	20:31	20:58	12,0
3200	10/12/20	20,1 °C	20:03	21:35	21:04	14,0
3201	10/12/20	19,1 °C	20:11	21:40	21:10	12,0
3202	10/12/20	19,5 °C	20:20	20:55	21:23	11,0
3203	10/12/20	17,4 °C	20:30	21:05	21:37	13,0
3204	10/12/20	19,1 °C	20:39	21:10	21:40	12,0
3205	10/12/20	19,7 °C	20:49	21:20	21:58	12,0
3206	10/12/20	19,8 °C	20:58	21:35	22:05	11,0
3207	10/12/20	20,3 °C	21:06	21:36	22:01	10,0
3208	10/12/20	19,2 °C	21:15	21:38	22:08	11,0
3209	10/12/20	18,4 °C	21:24	22:50	22:23	12,0
3210	10/12/20	20,2 °C	21:44	22:15	22:58	11,5
3211	10/12/20	18,6 °C	21:55	22:30	23:04	12,0
3212	10/12/20	18,0 °C	22:05	22:37	23:07	11,0
3213	10/12/20	19,0 °C	22:15	22:45	23:20	11,0
3214	10/12/20	18,0 °C	22:25	23:00	23:31	11,0
3215	10/12/20	18,1 °C	22:37	23:09	23:39	11,0
3216	10/12/20	17,2 °C	22:48	23:19	23:47	12,0
3217	10/12/20	18,2 °C	22:56	23:30	23:59	11,0
3218	10/12/20	17,3 °C	23:13	23:45	0:13	12,0
3219	10/12/20	19,5 °C	23:21	23:45	0:15	12,0
3220	10/12/20	19,8 °C	23:30	0:00	0:25	11,0
3221	10/12/20	20,0 °C	23:49	0:18	0:48	11,0
213346	11/12/20	19,7 °C	0:38	1:00	1:27	12,0
213347	11/12/20	20,6 °C	0:45	1:15	1:42	12,0
213348	11/12/20	21,9 °C	0:49	1:25	1:47	11,0
213349	11/12/20	20,0 °C	1:08	1:31	1:54	11,0
213350	11/12/20	19,7 °C	1:49	2:13	2:42	11,0

213260	11/12/20	20,7 °C	2:20	3:00	3:40	11,5
213161	11/12/20	20,0 °C	3:00	3:25	3:55	11,5

Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Anexo B

Resultados dos rompimentos dos corpos de prova

Nº NF	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO				
	7 DIAS		28 DIAS		
	01	MÁXI MO	01	02	MÁXI MO
34936			41,29	42,14	42,14
34937			38,84	39,94	39,94
34938			37,74	38,28	38,28
34939			38,21	38,67	38,67
34943			38,54	39,96	39,96
34946			40,00	41,13	41,13
34947			42,99	44,58	44,58
34942			38,58	39,37	39,37
34950	37,61	37,61	42,04	42,13	42,13
34948			41,35	41,95	41,95
34951			41,29	42,44	42,44
34952	40	40,00	42,74	43,53	43,53
34953			44,24	44,38	44,38
34954			43,19	45,54	45,54
34949			39,12	39,78	39,78
34955			40,62	41,64	41,64
34956			42,55	45,81	45,81
34957			48,71	50,65	50,65
34958			36,63	37,73	37,73
34961			40,77	42,79	42,79
34960	37,75	37,75	40,45	41,05	41,05
34962			45,12	46,11	46,11
34963			43,58	45,79	45,79
34964			42,96	43,36	43,36
34965			41,89	44,26	44,26
34966	31,77	31,77	40,24	41,21	41,21

34967			43,99	45,74	45,74
34968			42,09	42,85	42,85
34969			44,12	45,98	45,98
34970			48,00	50,10	50,10
34971	31,61	31,61	40,83	41,28	41,28
34973			37,65	38,22	38,22
34972			42,27	42,64	42,64
34974			43,52	44,91	44,91
34975			43,28	43,38	43,38
34976			36,66	37,59	37,59
34977	32,64	32,64	45,21	46,16	46,16
34979			50,10	52,02	52,02
34980			40,87	41,43	41,43
34981			41,22	42,65	42,65
34982			44,11	44,50	44,50
34983			43,01	43,96	43,96
34984			41,38	45,19	45,19
34986			43,78	45,13	45,13
34985			40,94	41,55	41,55
34987			45,01	45,28	45,28
34988			45,22	46,19	46,19
34989			41,41	41,96	41,96
34990			37,53	38,74	38,74
34991			44,19	47,50	47,50
34992			40,21	40,95	40,95
34993	35,76	35,76	41,49	41,53	41,53
34994			43,79	45,18	45,18
34995			36,36	38,64	38,64
34996			32,55	36,88	36,88
34997			30,64	31,68	31,68
34998			41,70	42,70	42,70
34999			32,71	33,60	33,60

35000			39,56	40,55	40,55
35001			41,94	43,25	43,25
35002	31,94	31,94	35,02	36,84	36,84
35003			37,89	41,88	41,88
35004			42,13	44,44	44,44
35005			38,26	40,54	40,54
35007			31,25	34,71	34,71
35008			42,99	44,19	44,19
35009			36,74	38,65	38,65
35010			40,14	42,79	42,79
35011			37,73	41,04	41,04
35012			36,22	38,63	38,63
35013			36,27	36,65	36,65
35014			41,52	43,09	43,09
35015			40,86	41,59	41,59
35016			42,57	43,88	43,88
35017			41,77	42,46	42,46
35018			44,06	45,35	45,35
35019			37,31	38,84	38,84
35020			35,55	36,25	36,25
35021			40,94	41,95	41,95
35022			42,11	43,71	43,71
35023			35,26	36,78	36,78
35024			40,53	42,52	42,52
35025			45,28	46,15	46,15
35026			39,98	43,68	43,68
35027			39,01	40,29	40,29
3127			44,17	45,63	45,63
3128			46,61	48,81	48,81
3129			39,93	40,83	40,83
3130			47,66	49,67	49,67
3131			41,11	43,55	43,55

3132	47,17	47,17	54,54	56,06	56,06
3133			47,74	50,05	50,05
3134			51,20	53,20	53,20
3135			51,29	53,49	53,49
3136			45,49	49,86	49,86
3137			53,47	54,56	54,56
3138			52,62	54,12	54,12
3139	37,78	37,78	50,05	51,99	51,99
3141			48,81	49,80	49,80
3140			50,38	52,91	52,91
3142			44,12	44,64	44,64
3144			45,93	47,44	47,44
3143			48,06	49,03	49,03
3145			40,14	41,01	41,01
3146			47,77	49,59	49,59
3148			42,25	44,05	44,05
3147			48,00	49,76	49,76
3149			42,66	46,29	46,29
3150			35,64	37,77	37,77
3151			45,12	46,49	46,49
3152			41,89	46,70	46,70
3153			42,08	42,86	42,86
3154			47,99	50,36	50,36
3155			43,12	45,78	45,78
3156			43,55	44,54	44,54
3157			41,09	42,91	42,91
3158			41,04	42,05	42,05
3159			43,02	43,16	43,16
3160			42,54	43,89	43,89
3161			43,96	45,54	45,54
3164			40,40	41,27	41,27
3163			41,37	43,39	43,39

3165			40,83	41,39	41,39
3166			38,29	40,45	40,45
3167			38,52	40,71	40,71
3168			35,41	36,60	36,60
3169			33,36	35,58	35,58
3170			41,77	44,89	44,89
3171			43,19	45,93	45,93
3172			40,77	41,14	41,14
3173			35,29	37,38	37,38
3174			41,94	46,26	46,26
3175			41,25	43,01	43,01
3176			41,62	43,68	43,68
3177			40,56	41,57	41,57
3178			40,67	42,06	42,06
3179			48,84	50,39	50,39
3180	33,3	33,30	45,60	47,13	47,13
3181			44,44	46,14	46,14
3183			40,82	42,54	42,54
3182			44,21	45,55	45,55
3184			45,21	47,01	47,01
3185			43,42	46,55	46,55
3186			45,91	46,61	46,61
3187			40,27	42,28	42,28
3188			45,43	47,26	47,26
3189			42,78	45,60	45,60
3190			40,80	42,20	42,20
3191	30,51	30,51	44,71	46,11	46,11
3192			42,17	43,65	43,65
3193			40,85	42,54	42,54
3194			44,12	44,46	44,46
3195			39,54	41,36	41,36
3197			45,61	47,55	47,55

3198			41,39	42,31	42,31
3199			39,39	39,97	39,97
3200	31,01	31,01	44,04	45,75	45,75
3201			41,26	42,51	42,51
3202			42,61	44,40	44,40
3203			30,79	31,75	31,75
3204			37,78	40,04	40,04
3205			31,95	35,65	35,65
3206			42,26	43,15	43,15
3207			36,36	36,85	36,85
3208			32,85	34,92	34,92
3209	36,44	36,44	39,99	40,70	40,70
3210			40,22	42,43	42,43
3211			42,20	43,21	43,21
3212			38,87	40,61	40,61
3213			40,89	41,86	41,86
3214			42,49	43,73	43,73
3215			36,62	37,94	37,94
3216			33,66	34,67	34,67
3217			41,49	42,48	42,48
3218			36,05	37,23	37,23
3219			41,11	42,83	42,83
3220			45,56	47,43	47,43
3221			40,03	40,19	40,19
213346			44,06	45,33	45,33
213347			44,63	46,35	46,35
213348			40,82	41,76	41,76
213349			50,01	50,14	50,14
213350			43,52	44,86	44,86
213260			48,14	49,62	49,62
213161			43,39	44,54	44,54

Fonte: arquivo pessoal, 2020.