

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIENCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS DE CARVALHO VASCONCELOS

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS CAUSAS, DO MÉTODO DE SOLUÇÃO
APLICADO E IMPACTOS DE UMA PONTE EM CONSTRUÇÃO QUE FICOU
ABAIXO DO NÍVEL DA ÁGUA EM UMA ESTRADA MARANHENSE**

São Luís

2017

LUCAS DE CARVALHO VASCONCELOS

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS CAUSAS, DO MÉTODO DE SOLUÇÃO
APLICADO E IMPACTOS DE UMA PONTE EM CONSTRUÇÃO QUE FICOU
ABAIXO DO NÍVEL DA ÁGUA EM UMA ESTRADA MARANHENSE**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão e Orientador como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^º. Me. Ivar Ribeiro Hortegal

São Luís

2017

Vasconcelos, Lucas de Carvalho.

Estudo de caso: análise das causas, do método de solução aplicado e impacto de uma ponte em construção que ficou abaixo do nível da água em uma estrada maranhense / Lucas de Carvalho Vasconcelos. – São Luís, 2017.

73 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Me. Ivar Ribeiro Hortegal.

1. Enchente máxima. 2. Ponte. 3. Alteração de projeto. I. Título.

CDU 624.21(812.1)

LUCAS DE CARVALHO VASCONCELOS

**ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS CAUSAS, DO MÉTODO DE SOLUÇÃO
APLICADO E IMPACTOS DE UMA PONTE EM CONSTRUÇÃO QUE FICOU
ABAIXO DO NÍVEL DA ÁGUA EM UMA ESTRADA MARANHENSE**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão e Orientador como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Ivar Ribeiro Hortegal (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho (Examinador)
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Me. Clodoaldo César Malheiros Ferreira (Examinador)
Universidade Estadual do Maranhão

À Deus, por ter conseguido. À minha família, José, Marleide, Ana Júlia e Juliana, a razão de eu estar aqui. Aos professores, por mostrarem o caminho, e aos meus amigos, por serem meu suporte tão valioso.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus, Pai bondoso que tudo vê, tudo sabe e tem planos para cada indivíduo. Somente ele e eu sabemos das dificuldades vividas, sofrimentos e alegrias. Sei que o Senhor me faz aprender a ter paciência e fé, e quando estou prestes a desistir, me lembra de que sempre é possível se eu acreditar que o Senhor está comigo na missão. Hei de louvar e agradecer intensamente o Poderoso Senhor.

Agradeço a José de Ribamar Teixeira Vasconcelos, grande profissional, ótimo instrutor, um amigo próximo, um pai presente. Me espelhei sempre no senhor, pois para mim, és alguém acima da média e confesso que não conheço alguém mais inteligente que o senhor, meu pai. Tenho vários objetivos na vida, mas um deles, em especial, é ser pelo menos metade do grande homem que você é.

Agradeço a Marleide de Carvalho Vasconcelos, minha mãe. Dentre poucas pessoas que tenho a liberdade de dizer que posso contar, você é simplesmente a primeira. Esteve comigo em todos os momentos da minha vida e tenho certeza que ainda estará naqueles que ainda virão. Sei que sempre é o melhor, dentro as tuas capacidades e esforços, as coisas que você faz por mim. Essa vitória também é sua, minha mãe. Eu agradeço por tudo.

As minhas irmãs, Ana Júlia de Carvalho Vasconcelos e Juliana de Carvalho Vasconcelos, por serem conselheiras, com mais um sentimento de proteção. Apesar de distancias, não cessa aquela sensação de que estão cuidando de mim. Agradeço a preocupação e o suporte que vocês têm me dado.

À minha família que me ajudou e torce por mim. Pude contar sempre com o apoio de vocês, o suporte e as palavras de incentivo foram fundamentais na minha trajetória. Citar nomes aqui levaria uma década, com o tamanho da família. E mesmo não tendo contato com alguns familiares, não houve uma vez que não se preocuparam com meu futuro. Dessa forma, para representar toda a família, Rita Vasconcelos e Marlene Francisca, minhas avós, muito obrigado!

A Wendy. Impossível escrever as coisas que você fez e faz. E não teria como te agradecer da maneira correta como você merece. Então minha tentativa é dizer que você não precisava dividir as angústias, ouvir reclamações, receber negatividade nos meus momentos de fraqueza. Mas mesmo assim esteve lá, as vezes sem falar nada, as vezes me acalmando. Mas todas as vezes, o simples fato de estar

lá por mim já me ajudava de uma forma que nem eu compreendo. Obrigado por me acolher na sua casa, me alimentar, conversar assuntos chatos, tudo isso para me ajudar. Eu não teria conseguido sem você.

Aos meus melhores amigos, Ana Paula Bacelar, Luísa Viégas e Rodrigo Vasconcelos. As vezes juntos, muitas vezes distantes. Mas é como se a distância não existisse quando conversamos. Se existem aqueles que eu posso comemorar juntos a cada passo dado ao sucesso, esses são vocês. Pelas boas energias e torcida, obrigado.

Meus amigos pertencentes da UEMA, que dividi batalhas com disciplinas, preocupação com notas, suportando junto, aguentando os desafios e se divertindo na experiência universitária. Muito obrigado Igor Vinícius, João Luís Rolim, Gabriel Borges, Klailson Cutrim, André Aquino, Vanessa Bessa, Thais Torres, Daniel Nogueira, Guilherme Teles, Raissa Catossi, Nicolas Mota, Igor Marcelo, Mariana Franco, Évila Karoline, Gabriel Sousa, Erickson Carvalho, Rennan Sales, Marlon Brenon, José Antônio, Victor Hugo Senna, Francisco Queiroz, Letícia Torquato, Ravanna Maia e muitos outros.

Meus amigos que fiz até hoje que continuaram presentes na minha vida, que dividi momentos de descontração e alegrias: Juliana Dias, Nicole Veras, Paula Kruger, Pedro Licério, Mayara Rolim, Pedro Paulo, Phetrick Breno, Saulo Cutrim, Eduarda Oliveira, Marina Costa, Valéria Coelho, Mayara Meneses, Thiago Furtado, Jorrimar Aquino, Thaynara Reis, Ana Patrícia, Onivaldo, Bruna Machado, Luan Castro, Luanda Queiroz e todo mundo que não pude colocar aqui, muito obrigado.

Ao meu orientador Ivar Ribeiro Hortegal, pelo conhecimento disponibilizado e a grande ajuda que prestou nessa etapa final, fazendo deste trabalho também mérito de grande parte dele. À todos os professores que contribuíram com o ensino e ajuda necessária para poder me guiar e concluir.

Às funcionárias do departamento de engenharia civil, que por muitas vezes me aguentaram e orientaram com os procedimentos que precisei fazer no final do curso, bem como também torceram para que isto acontecesse. Obrigado Vanessa, Maria e Thamires!

*“Mesmo desacreditado e ignorado por todos,
não posso desistir, pois para mim, vencer é
nunca desistir.”*

Albert Einstein

RESUMO

O trabalho discorre a respeito de um estudo de caso, evidenciando os problemas e soluções adotadas sobre a construção da Ponte sobre o Igarapé do Arvoredo, de 40 metros de vão, situado entre as estacas 1979+00 à 1981+00 da Rodovia MA-318, que, ainda em obras, encontrou-se abaixo do nível da água do rio na enchente máxima. Neste estudo de caso é revista a fundamentação dos estudos realizados na qual a elaboração do projeto da ponte foi embasada, a execução conforme o projeto e a justificativa de tal evento. Ao encontrar as causas, é estudada a solução aplicada no que diz respeito as alterações de projeto e impactos, seja na execução da obra e no orçamento final, onde se pode identificar o reflexo financeiro deste acontecimento. Interessante notar as medidas tomadas partindo de uma premissa de execução de que a recuperação da ponte deveria partir do pressuposto de aproveitar a estrutura existente, evitando custos maiores. Com posse dos dados obtidos, ações para que o evento não se repita poderão ser desenvolvidas a partir deste trabalho, onde mostra exatamente as consequências que este fenômeno produz, evitando retrabalho, dando agilidade e resposta para a obra. Dessa forma, servirá de base para futuros projetos aplicados na região, com mesmas características, seja intervenção preventiva e corretiva, contribuindo para evitar problemas inesperados.

Palavras-chave: Enchente máxima. Ponte. Alteração de Projeto.

ABSTRACT

The paper deals with a case study, evidencing the problems and solutions adopted on the construction of the Bridge over the Igarapé do Arvoredo, 40 meters span, located between the stakes 1979 + 00 to 1981 + 00 of the MA-318 Highway , which, still under construction, was found below the water level of the river in the maximum flood. In this case study is reviewed the foundation of the studies carried out in which the design of the bridge project was based, the execution according to the project and the justification of such event. In finding the causes, the solution applied with regard to project changes and impacts is studied, both in the execution of the work and in the final budget, where the financial reflection of this event can be identified. It is interesting to note the measures taken based on a premise of implementation that the recovery of the bridge should be based on the assumption of taking advantage of the existing structure, avoiding higher costs. With the possession of the obtained data, actions for the event not to be repeated can be developed from this work, where it shows exactly the consequences that this phenomenon produces, avoiding rework, giving agility and response to the work. In this way, it will serve as a basis for future projects applied in the region, with the same characteristics, be it preventive and corrective intervention, helping to avoid unexpected issues.

Keywords: Maximum flood. Bridge. Project Change.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Elementos das pontes.....	15
Figura 2 – Pontes do tipo viga.....	17
Figura 3 – Ponte do tipo arco.....	17
Figura 4 – Ponte do tipo pórtico.....	18
Figura 5 – Ponte do tipo estaiada.....	18
Figura 6 – Ponte do tipo pensil.....	18
Figura 9 – Pavimento rígido, composto de cimento Portland.....	20
Figura 10 – Pavimento flexível, composto de revestimento asfáltico.....	20
Figura 11 – Rio em correnteza.....	21
Figura 12 – Partes do rio em esquema.....	22
Figura 13 – Partes do rio em foto aérea.....	23
Figura 14 – Modelo de orçamento analítico.....	24
Figura 15 – Localização e situação da Obra.....	27
Figura 16 - Sessão do pavimento com camadas definidas e taludes.....	28
Figura 17 – Ponte de madeira existente.....	29
Figura 18 – Projeto inicial da ponte (versão 1, concebido pela Maia Melo Engenharia)	29
Figura 19 – Estaqueamento e locação da ponte em projeto.....	31
Figura 20 – Locação altimétrica com cota de terreno e greide de projeto.....	31
Figura 21 – Vista lateral do projeto da ponte 40 metros de vão.....	32
Figura 22 – Locação e especificação das longarinas metálicas.....	33
Figura 23 – Corte transversal retirado do projeto da ponte 40 metros de vão.....	33
Figura 24 – Lançamento de vigas metálicas de vão de 10 metros.....	35
Figura 25 – Visão lateral da viga berço com longarinas apoiadas.....	35
Figura 26 - Execução de forma e armação da ala.....	36
Figura 27 – Pré-lajes concretadas, preparação para concretagem de vãos.....	36
Figura 28 – Armação da ferragem de laje e preparação para concretagem.....	37
Figura 29 – Dia anterior a cheia máxima, pré-lajes já alagadas.....	38
Figura 30 – Elevação do nível do rio, impedindo as equipes de prosseguir com serviços	39
Figura 31 – Ponte totalmente coberta pela água.....	39
Figura 32 – Rio Igarapé Arvoredo em calmaria, dado para analisar.....	40

Figura 33 – Simulação de enchente do rio Pindaré.....	41
Figura 34 – Estação fluviométrica de Alto Alegre.....	42
Figura 35 – Esquema de definição da ME	44
Figura 36 – Cota retirada de projeto da diferença entre viga metálica e pavimento..	45
Figura 37 – Planta baixa da adequação bem como locação de novas estacas	47
Figura 38 – Vista longitudinal do projeto estrutural adequado mostrando alterações	47
Figura 39 – Corte central visualizando a sessão transversal	48
Figura 40 –Corte no vão da extremidade visualizando a seção transversal	48
Figura 41 – Representação 3D da nova configuração da infra e mesoestrutura da ponte.	49
Figura 42 - Representação do modelo de infra, mesoestrutura de um apoio da ponte	49
Figura 43 – Detalhe do pilar retangular que incorpora os pilar e viga berço existentes	50
Figura 44 – Blocos de concreto adequados e ancorados aos existentes.....	51
Figura 45 – Pilares de sustentação das novas alas das extremidades	51
Figura 46 – Situação da ponte após o nível da água abaixar	52
Figura 47 – Laje de tabuleiro concretada	53
Figura 48 – Equipamentos para cravação da estaca raiz	54
Figura 49 – Cravação de estacas raízes.....	55
Figura 50 – Esperas para ancoragem em prolongamento de bloco.....	55
Figura 51 – Forma para concretagem de prolongamento de bloco.....	56
Figura 52 – Blocos concretados e espera de pilares retangulares.....	57
Figura 53 – Seção de terraplenagem nas extremidades da ponte	59
Figura 54 – Memória de quantitativos da adequação.....	60
Figura 55 – Modelo de tirante Dywidag.....	62
Figura 56 – Ancoragem Dywidag	63
Figura 57 – Recuperação estrutural tipo Dywidag.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Pontes	15
3.1.2 Tipos de Pontes	16
3.2 Pavimentos	19
3.3 Rios	20
3.3.1 Partes de um rio	21
3.3.2 Rio no estudo hidráulico	23
3.4 Orçamento e memorial descritivo	23
4 METODOLOGIA	26
4.1 Área de estudo	26
4.2 Procedimentos Metodológicos	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1 Implantação da ponte sobre o Igarapé Arvoredo	27
5.1.1 Premissas de implantação	27
5.1.2 Projeto original (versão 2, concebido pela Maia Melo e SINFRA)	30
5.1.3 Dados da execução da ponte versão 2 (extensão 40 metros e largura 20 metros)	34
5.2 Alagamento da ponte (inundação da ponte inclusive tabuleiro na enchente máxima)	37
5.3 Motivo do alagamento e nova cota	40
5.4 Solução estrutural adotada	45
5.4.1 Vistas e cortes da ponte já elevada e reforçada.....	46
5.4.2 Vista da infra e mesoestrutura reforçada.....	50

5.5 Fase de execução da adequação.....	52
5.6 Reflexo financeiro nos custos iniciais	59
5.7 Atirantamento com tirantes de protensão tipo Dywidag	62
6 CONCLUSÃO	65
ANEXOS	69

1 INTRODUÇÃO

Um projeto é um conjunto de atividades sequenciadas ou não com escopo definido, com tempo definido e resultado único (PMI, 2017). O projeto de uma construção é o guia de execução da obra, onde deve-se obedecer as especificações e características do produto. Entretanto, ocorrências na execução da obra podem vir a refletir uma mudança de projeto, sendo esta, prevista ou não. Tais alterações sempre devem ser retratadas para com os projetistas.

A ponte é definida como uma estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, vales, vegetação, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. (DNIT, 2016)

Em obras da Rodovia MA-318, localizada entre os municípios maranhenses de Bom Jardim e São João do Carú, numa extensão de 86,00 km, ainda em construção a sua estrutura rodoviária, obra estadual da Secretaria de Infraestrutura do Maranhão (SINFRA/MA), com drenagens superficiais e transposições de talwegues, está localizada uma Obra de Arte Especial (OAE) de nome “Ponte sob o Igarapé do Arvoredo”, que na data presente encontra-se ainda sobre obras. OAEs são obras de arte que necessitam de um projeto específico e único, como uma ponte ou viaduto. Entretanto, por motivos que ainda serão analisados neste trabalho, neste inverno nordestino de 2017, o nível da água se encontrou acima do greide final da ponte.

Será identificado o problema com detalhes, junto de dados da construtora e da projetista, de modo a investigar todo o processo no qual desencadeou o evento, com checagens de projeto e execução. Após a identificação das causas, observar e analisar a solução tomada pela construtora, estudando quais mudanças seriam tomadas e então fazer um estudo de impactos se destacariam no reflexo financeiro da alteração de projeto, de modo a identificar as diferenças entre o projeto original e a adequação proposta. De posse do orçamento original e no orçamento aditivado, serão levantadas tais mudanças, além da geometria do projeto.

Será posta, finalizando o trabalho, uma reflexão a respeito de evitar as causas que ocasionaram todos estes problemas, mostrando a importância do fato ocorrido para futuros projetos e então englobar tais fatores num gerenciamento de risco de uma obra de características similares implementada região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar as causas, apresentar alteração de projeto e impactos da solução tomada da enchente que cobriu a Ponte Igarapé do Arvoredo na Rodovia MA-318.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar a área e o projeto mostrando dados da execução da obra;
- b) Apresentar o problema da enchente;
- c) Mostrar as causas da enchente e definição de nova cota;
- d) Apresentar projeto com a solução estrutural a ser adotada;
- e) Mostrar fases da execução e impactos em decorrência da enchente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico necessário para abordar o tema está disposto nos itens a seguir:

3.1 Pontes

A NBR 7188 (2013, p.1) “ponte é uma estrutura sujeita a ação de carga em movimento com posicionamento variável, aqui chamada de carga móvel, utilizada para transpor um obstáculo natural (rio, córrego, vale etc.)”

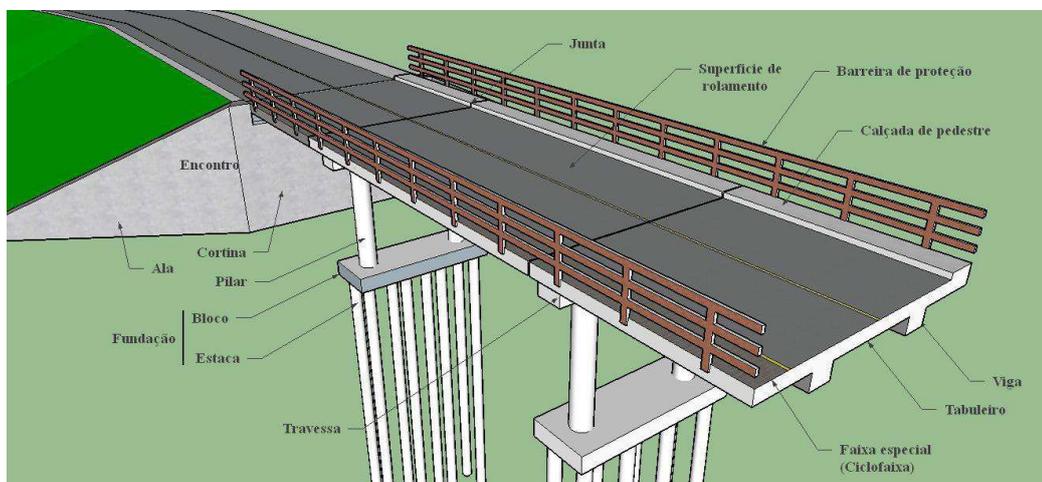
Para o DNIT (2016, p.18):

A ponte é definida como uma estrutura, inclusive apoios, construída sobre uma depressão ou uma obstrução, tais como água, rodovia ou ferrovia, que sustenta uma pista para passagem de veículos e outras cargas móveis, e que tem um vão livre, medido ao longo do eixo da rodovia, de mais de seis metros. Ficam incluídos nesta definição viadutos, passagens superiores e passagens inferiores.

3.1.1 Elementos constituintes

De acordo com o DNIT (2016, p.19), “as pontes em geral são constituídas por elementos com funções específicas, agrupados em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura”. A imagem a seguir ilustra essa divisão:

Figura 1 – Elementos das pontes



Fonte: DNIT (2016)

Ainda segundo o DNIT (2016, p.19):

A superestrutura é o nome do sistema formado pelo tabuleiro e o sistema de suporte principal. A função estrutural da superestrutura é a de transmitir as cargas do estrado, ao longo dos vãos, para os apoios. Além dos elementos estruturais, tabuleiro e vigas, formam parte deste sistema os elementos de proteção, as faixas de segurança, a sinalização e os sistemas de drenagem.

A superestrutura ainda possui vários outros elementos, como juntas de dilatação, sistema de iluminação e drenagem e lajes de transição, que são lajes em concreto armado, de previsão obrigatória e usadas para abranger a área problemática entre a zona de aproximação da OAE e o encontro da estrutura (VALEC, 2015 apud DNIT, 2016).

Para o DNIT (2016), a mesoestrutura das OAEs é o conjunto de elementos responsáveis pelo suporte da superestrutura e na infraestrutura, transmitindo a ela os esforços correspondentes, sendo constituídas de travessas, pilares, aparelhos de apoio e encontros.

A infraestrutura é o conjunto de elementos estruturais que recebem as os esforços verticais, horizontais longitudinais e transversais e as transmitem a fundação, devendo ser transferidas aos perfis de solo ou rocha capazes de suportá-las com segurança, constituída de fundações rasas, do tipo sapatas ou blocos ou fundações profundas, do tipo estacas e tubulões (DNIT, 2016).

3.1.2 Tipos de Pontes

Os tipos de classificação das pontes são determinados de acordo com as diferenças que os elementos sofrem os esforços de tração, compressão e flexão, podendo ser (DNIT, 2016, p. 26-28):

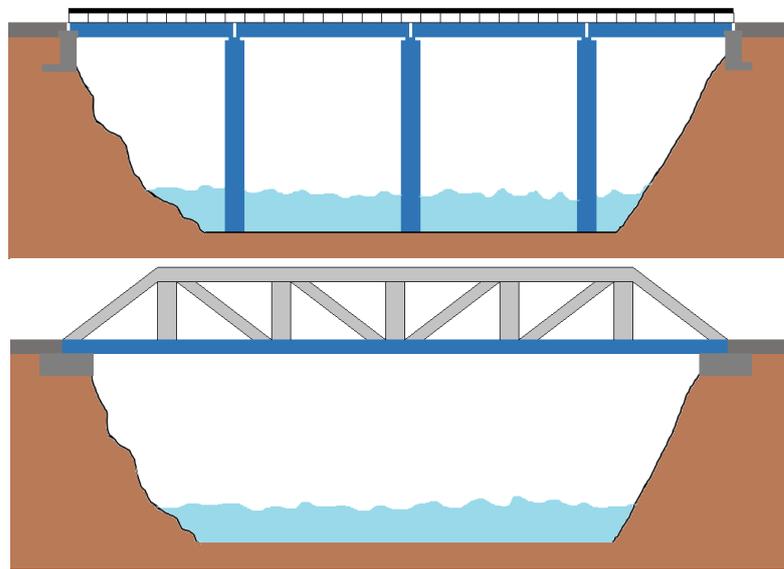
- a) Ponte em viga: transmite as cargas aos apoios causando compressão;
- b) Ponte em arco: as cargas são transmitidas através de solicitações inclinadas, predominantemente de compressão;
- c) Ponte em pórtico: a superestrutura e a mesoestrutura estão ligadas monoliticamente e transmitem as cargas por compressão de todos os elementos;
- d) Ponte estaiada: tabuleiro trabalha a flexão, suporta as cargas permanentes e as sobrecargas e as transfere aos estais, trabalhando a

tração passando as cargas às torres, que, por sua vez, transmitem por compressão as cargas à fundação

- e) Ponte pênsil: o tabuleiro é suportado por uma série de cabos verticais de sustentação que se ligam ao cabo principal, que se encontra conectado aos mastros formando uma parábola e são ancorados a cada extremidade da ponte. Todo o sistema de cabos funciona por tração e os mastros trabalham a compressão.

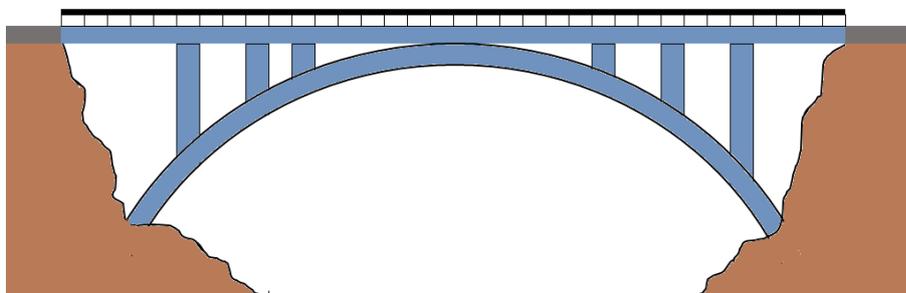
Seguem imagens do que foi explicitado acima, para ilustração:

Figura 2 – Pontes do tipo viga



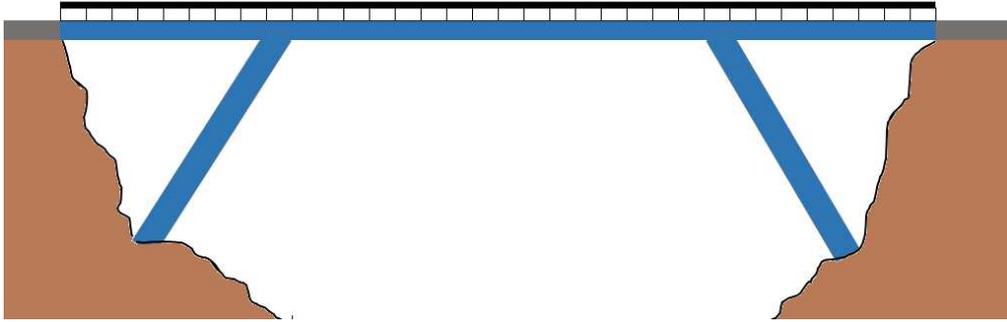
Fonte: DNIT (2016)

Figura 3 – Ponte do tipo arco



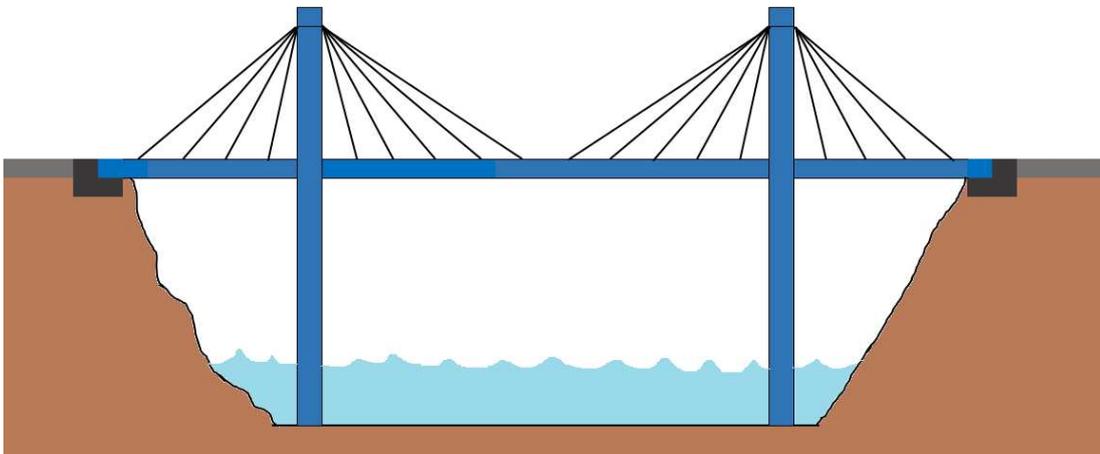
Fonte: DNIT (2016)

Figura 4 – Ponte do tipo pórtico



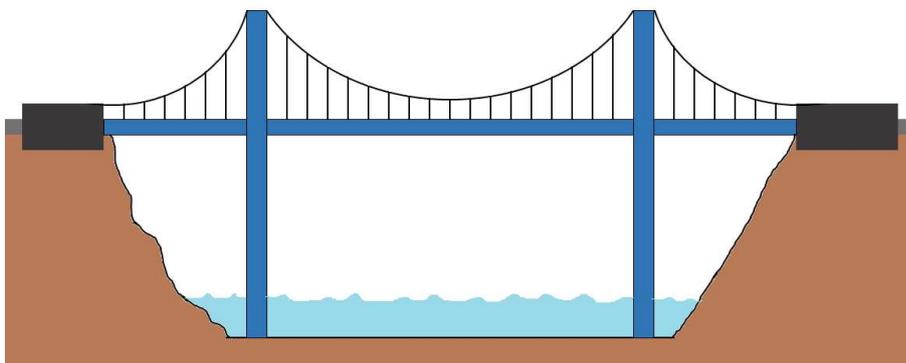
Fonte: DNIT (2016)

Figura 5 – Ponte do tipo estaiada



Fonte: DNIT (2016)

Figura 6 – Ponte do tipo pensil



Fonte: DNIT (2016)

3.2 Pavimentos

De modo a ter base nos assuntos pertinentes ao tema, por se tratar de uma obra de pavimentação, é indispensável o conhecimento básico a respeito de pavimentos. Logo no momento do entendimento do objeto da obra, é possível a análise dos dados recolhidos.

As estruturas de pavimentos são sistemas de camadas sucessivas sobre uma fundação chamada subleito, onde o comportamento estrutural depende da espessura de cada uma das camadas, da rigidez destas e do subleito. Essas camadas sobrepostas podem ser compostas dos mais diversos materiais, levando-se em consideração as suas características químicas e físicas. A engenharia rodoviária subdivide as estruturas de pavimentos segundo a rigidez do conjunto: em um extremo, têm-se as estruturas rígidas e, no outro, as flexíveis (BERNUCCI, 2006).

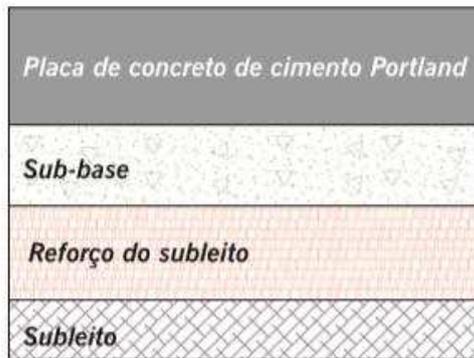
Para Bernucci (2006, p.337):

Os pavimentos rígidos, em geral associados aos de concreto de cimento Portland, são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (em geral placas, armadas ou não), apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário.

Os pavimentos flexíveis, em geral associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes. Dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez e espessura das camadas, e condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser suprimidas.

Seguem imagens para ilustrar o que foi exposto pelo que acima foi dito:

Figura 7 – Pavimento rígido, composto de cimento Portland



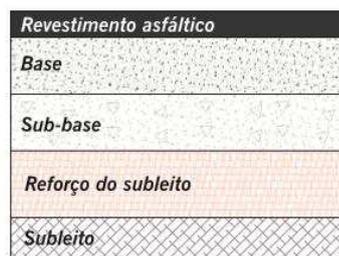
(a) Estrutura de pavimento-tipo



(b) Revestimento em concreto de cimento Portland sendo executado

Fonte: BERNUCCI (2006)

Figura 8 – Pavimento flexível, composto de revestimento asfáltico



(a) Estrutura de pavimento-tipo



(b) Revestimento asfáltico sendo executado

Fonte: BERNUCCI (2006)

3.3 Rios

De acordo com Freitas (2018), "Rio é um curso de água que corre naturalmente de uma área mais alta para uma mais baixa do relevo, geralmente deságua em outro rio, lago ou no mar." Os rios são formados pelo afloramento do lençol freático na superfície, lençol este formado pela permeabilização da água da chuva, até que encontre solo impermeável. Os rios podem ser formados também pelo degelo dos picos montanhosos e de lagos (FREITAS, 2018).

Os rios sofrem com a ação da estiagem, e se comportam de formas diferentes. Podem ser rios perenes, que não secam em nenhum período do ano, ou

temporários, que secam determinada época do ano, que varia de local para local (FREITAS, 2018).

Figura 9 – Rio em correnteza



Fonte: BRASIL ESCOLA (2018)

Diz Freitas (2018):

Não há nenhuma dúvida de que os rios são de extrema importância para a humanidade, uma vez que fornecem a água que bebemos, além de ser usada para cozinhar os alimentos, para realizarmos a higiene pessoal e residencial, na indústria (fabricação de sucos, refrigerantes, alimentos entre outros), irrigar as lavouras e hortaliças. Considerando que a pesca pode ser realizada em rios e suas águas servem como via de transporte e de força hidráulica na produção de energia elétrica.

Por essa razão, é indispensável conhecer melhor esses cursos d'água.

3.3.1 Partes de um rio

Os rios podem ser subdivididos em partes distintas, que são as seguintes (RIBEIRO, 2018):

Nascente: é o local onde a água subterrânea atinge a superfície, dando origem a um curso d'água. O ponto onde a água aflora é também chamado de olho d'água, mina, fonte, bica ou manancial;
 Leito: é o espaço ocupado pelas águas, isto é, é o caminho que o rio percorre;
 Margem: é o local onde a água se encontra com a terra. Costuma-se utilizar esse termo em referência à beira da água de um rio ou de um lago quando se encontra com a terra;
 Afluente: é o curso d'água que deságua em um rio principal ou em um lago. São os afluentes que alimentam o rio principal;
 Subafluente: é o rio que deságua no rio afluente;
 Confluência: é o ponto de junção entre dois fluxos d'água, que se reúnem para formar um novo rio;
 Meandro: é o caminho tortuoso de um curso d'água;

Foz ou embocadura: é o local onde uma corrente de água, como um rio, deságua. Sendo assim, um rio pode ter como foz outro rio, um grande lago, uma lagoa, um mar ou o oceano;

Jusante: é o sentido da correnteza em um curso d'água da nascente para a foz;

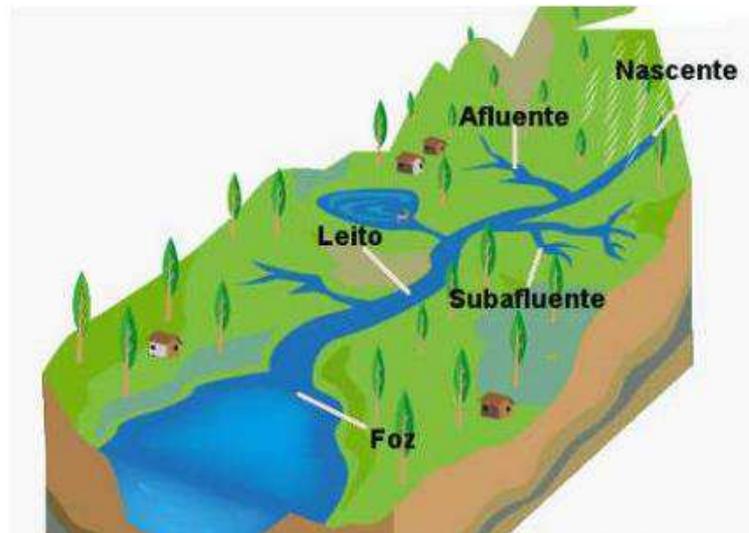
Montante: é o sentido contrário ao que corre o fluxo do rio, em direção à nascente.

Os cursos d'água possuem partes classificadas como nascente, foz, meandro, afluentes e subafluentes

Título: Partes dos cursos d'água

Entender esses termos do assunto faz com que o entendimento do trabalho seja melhor aproveitado. As definições estão diretamente ligadas ao assunto, pois são aproveitadas como um todo pelo conteúdo proposto. De modo a ilustrar o que foi dito, segue imagens:

Figura 10 – Partes do rio em esquema



Fonte: BRASIL ESCOLA (2018)

Figura 11 – Partes do rio em foto aérea



Fonte: BRASIL ESCOLA (2018)

3.3.2 Rio no estudo hidráulico

Ao seguir a linha da hidráulica e hidrologia, podemos classificar os rios como condutos livres naturais ou canais naturais, pois estão sujeitos a pressão atmosférica. As águas se movem de lugares altos para lugares baixos, ou seja, trechos com declividade, e a declividade afeta diretamente na velocidade do conduto livre (AZEVEDO NETTO, 1998).

Quando os canais possuem escoamento e declividade constantes, um curso de água pode ser caracterizado como um canal de movimento uniforme. Quando essas condições não são satisfeitas por causa de uma elevação de água ou barragem a jusante, ocorre essa elevação de água também a montante a uma grande distância. Esse fenômeno é denominado remanso ou remonte (AZEVEDO NETTO, 1998).

3.4 Orçamento e memorial descritivo

A parte final do objetivo desse trabalho é calcular o reflexo financeiro da modificação que a ponte sofreu. Partindo disso, é preciso ter fundamentação em como é elaborado esse quantitativo e o preço. Estudar orçamento de obra e memorial descritivo se faz necessário também nessa etapa.

Librelotto (2003, p.2) diz “Orçar é quantificar insumos, mão de obra ou equipamentos necessários para a realização de uma obra ou serviço bem como o os respectivos custos e o tempo de duração”.

O orçamento analítico ou detalhado mostra o preço unitário, o serviço, a quantidade de serviço e o preço final parcial dos itens e subitens e da obra a ser cobrado do cliente, tendo a discriminação de todos os serviços em itens e subitens. Ao preço final da obra é acrescentada a taxa de BDI (que compreende os custos de equipamentos de proteção, impostos, riscos, insumos indiretos e lucro) (Librelotto, 2003).

Figura 12 – Modelo de orçamento analítico

Item	Un.	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1. SERVIÇOS PRELIMINARES				2.913,13
1.1 Abrigo provisório	m ²	12,00	130,19	1.562,26
1.2. Ligação provisória de luz e força	vb	1,00	169,78	169,78
1.3. Instalação provisória de água	vb	1,00	447,09	447,09
1.4. Tapume de chapa de madeira	m ²	29,40	19,69	578,92
1.5. Locação de obra	m ²	48,40	1,94	94,07
1.6. Raspagem e limpeza do terreno	m ²	180,00	0,34	61,01
2. INFRAESTRUTURA				1.137,86
2.1. Forma de tábua de pinho	m ²	42,72	13,78	588,74
2.2. Armadura CA-50A ou CA-50B	kg	225,00	1,01	226,14
2.3. Preparo de concreto estrutural	m ³	4,50	68,60	308,68
2.4. Escavação manual de valas	m ³	3,60	3,97	14,30

13. SERVIÇOS COMPLEMENTARES				543,03
Execução e regularização de base para revestimento de pisos	m ²	26,33	1,54	40,46
Preparo de concreto não estrutural	m ³	2,11	61,09	128,67
Execução de lastro de concreto não estrutural	m ²	26,33	9,92	261,09
13.2. Limpeza geral	m ²	200,00	0,56	112,81
TOTAL GERAL				xx.xxx,xx
TOTAL COM BDI (x%)				yy.yyy.yy

Exemplo 1. Orçamento detalhado

Fonte: LIBRELOTTO (2003)

Sobre o memorial descritivo, é possível ser definido como a relação dos materiais e equipamentos que serão necessários nas atividades que serão

necessárias para a realização da obra, com algumas informações extras que não estarão fazendo parte do orçamento (Librelotto, 2013).

De posse dos conhecimentos do orçamento e do memorial de cálculo, dá-se prosseguimento as etapas do trabalho.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A área de estudo a ser analisada é o trecho da obra de infraestrutura rodoviária da Rodovia MA – 318, no trecho localizado entre as cidades de Bom Jardim e São João do Carú, na área da ponte sobre o Riacho Igarapé do Arvoredo, afluente do rio Pindaré, situado nas estacas 1979+10 até 1980+10 da extensão da obra. O dito trecho sofreu o fenômeno da enchente, cobrindo a ponte em construção.

O trecho será analisado com mais detalhes no item 5 – “Resultados e discussões”.

4.2 Procedimentos Metodológicos

Primeiramente, para desenvolver o trabalho, é necessária a revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes ao tema em livros, artigos científicos, leis e normas, buscando a total compreensão dos acontecimentos decorridos e futuro entendimento das possíveis causas da enchente. Dessa maneira, é elaborada uma fundamentação teórica.

Após obter o conteúdo necessário, em seguida será necessária a obtenção de informações em forma de pesquisas em projetos executivos, pesquisas bibliográficas e entrevistas dos envolvidos, de modo a conseguir informações e documentos para firmar as informações cedidas.

De posse das informações, estas serão expostas, de modo a esclarecer os acontecimentos e se ter o entendimento tanto do evento ocorrido quanto da solução adotada, bem como o reflexo financeiro gerado pela enchente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões serão apresentados nos itens a seguir.

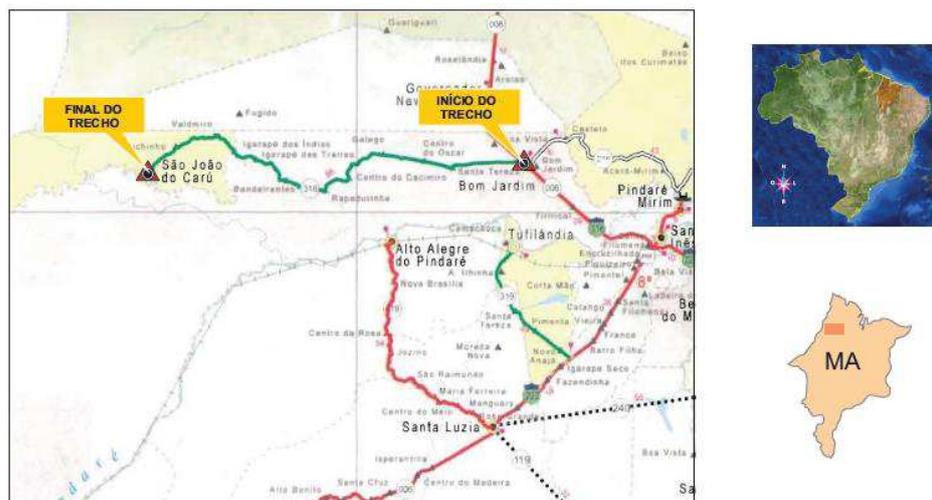
5.1 Implantação da ponte sobre o Igarapé Arvoredo

Para dar início a análise do evento, primeiramente deve-se discorrer a respeito da implantação do projeto da ponte, que serão apresentados nos itens a seguir. Os projetos, relatórios e mídias disponibilizadas pela Ducol Engenharia Ltda.

5.1.1 Premissas de implantação

Situada no oeste maranhense, a Rodovia MA-318, no trecho localizado entre as cidades de Bom Jardim e São João do Carú, foi dada início uma obra estadual fiscalizada pela SINFRA (Secretaria de Estado de Infraestrutura), por um instrumento contratual da concorrência 064/2013 (que contempla várias obras estaduais), contrato nº 003/2014 – ASSJUR/SINFRA, de objeto “Projeto executivo de Engenharia para obras de Melhoramento e Pavimentação” com extensão total de 86,0 quilômetros (SINFRA, 2013).

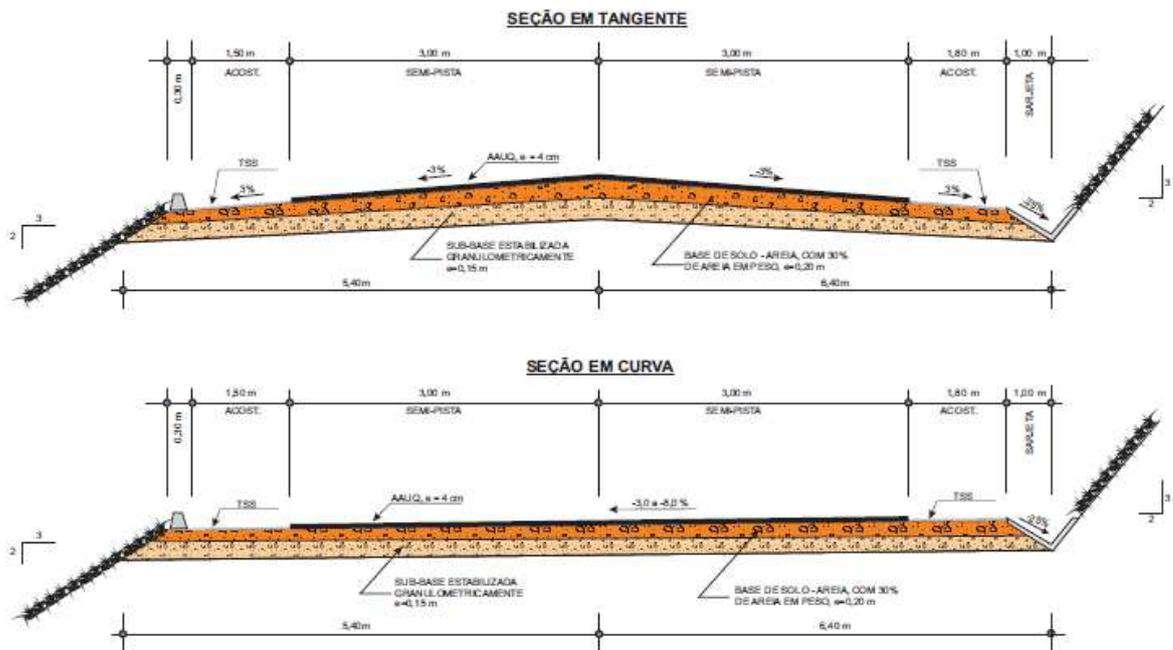
Figura 13 – Localização e situação da Obra



Fonte: SINFRA (2013)

Dentre as características da obra, se trata de uma implementação de pavimentação flexível com revestimento asfáltico compreendida entre as cidades citadas acima e se tem como objetivo a integração rodoviária entre as cidades e os povoados que margeiam a antiga estrada não pavimentada. A obra se caracteriza por ser na área rural do Maranhão, com drenagens simples (compreendida apenas de escoamento superficial e transposição de talwegues). A estrada será composta de camada de terraplenagem, sub-base granular, base granular e revestimento asfáltico do tipo Areia Asfalto Usinado a Quente (AAUQ) e obedecendo as inclinações de taludes nas encostas, como mostrado na ilustração a seguir (SINFRA, 2013):

Figura 14 - Sessão do pavimento com camadas definidas e taludes



Fonte: SINFRA (2013)

De modo a garantir a trafegabilidade do trecho já existente, contemplando o melhoramento, como consta no nome da obra, um estudo de campo (geométrico, geotécnico e social), foi realizado na extensão do trecho para reconhecer seus elementos. De acordo a empresa projetista Maia Melo Engenharia Ltda, vencedora da licitação da etapa de projeto, o estudo de campo revelou que havia uma ponte de madeira sobre o Riacho Igarapé do Arvoredo, afluente do rio Pindaré, situado nas estacas 1979+10 até 1980+10, de extensão de 20 metros, como mostra a imagem a seguir:

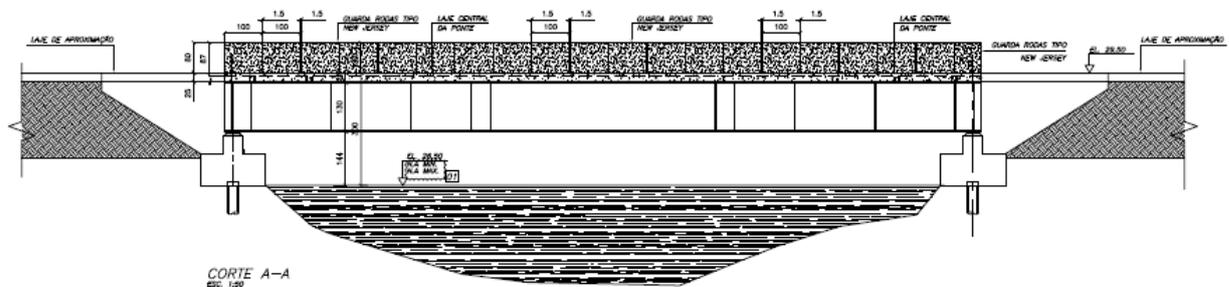
Figura 15 – Ponte de madeira existente



Fonte: SINFRA (2011)

Para adequação do escopo do projeto, a Maia Melo Engenharia elaborou um projeto de ponte (versão 1) que substituiria a ponte de madeira existente, seguindo os parâmetros dos cálculos por ela desenvolvidos, tendo como resultado uma ponte do tipo ponte de viga, de 20 metros de vão, de estrutura mista (formada de elementos estruturais metálicos e de concreto), obedecendo o estaqueamento existente, de greide 29,500 metros. Confira detalhe (versão disponibilizada pela SINFRA, datada de 2011):

Figura 16 – Projeto inicial da ponte (versão 1, concebido pela Maia Melo Engenharia)



Fonte: SINFRA (2011)

5.1.2 Projeto original (versão 2, concebido pela Maia Melo e SINFRA)

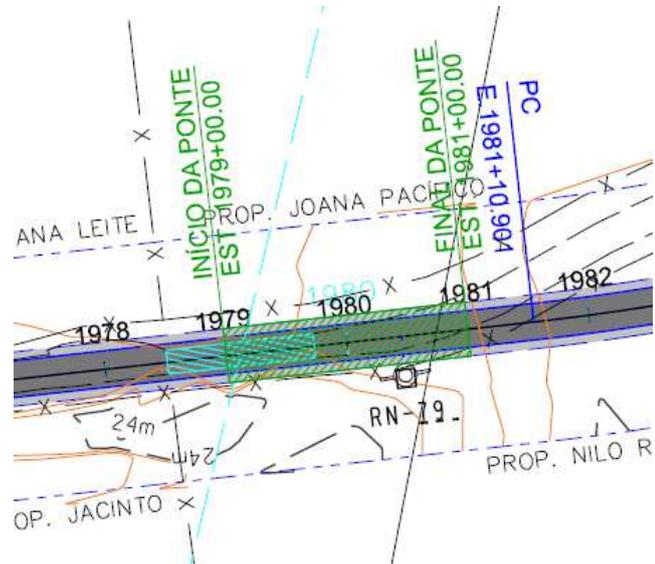
Segundo a Ducol Engenharia, construtora detentora do contrato de execução do projeto, foi feita uma análise dos projetos elaborados da projetista sobre todas as pontes do contrato, inclusive o projeto inicial (versão 1 para 20 metros, supracitado). Segundo a Ducol Engenharia, notou-se uma incoerência na concepção do projeto de 20 metros, onde não possuíam premissas de implementar uma ponte que pudesse suportar o tráfego do tempo útil da obra, mantendo somente suas características de quando era apenas de madeira. Pela concepção original, o vão mantinha-se o mesmo (20 metros), assim como o greide, mudando-se apenas em sua largura para 10 metros (informação verbal).¹

Segundo a Ducol, que não concordava com a ponte de 20 metros, em comum acordo com a SINFRA, foi elaborado o primeiro aditivo da ponte, onde o projeto seria adequado (nova versão) que atendesse o solicitado pelos novos estudos hidrológicos da Maia Melo Engenharia. Para elaborar o novo projeto da ponte (versão 2), a construtora convocou o engenheiro Ivar Hortegal, e o mesmo elaborou um novo projeto de obra de arte especial obedecendo os comprimento, largura e topografia da ponte definida pela Maia Melo. De acordo com a Maia Melo Engenharia, a nova ponte, seria de 40 metros, 10 metros de largura, situado nas estacas 1979+00 à estaca 1981+00, obedecendo a locação da projetista (conforme figura 4 a seguir) (informação verbal).²

¹ Informação fornecida pelo engenheiro Teixeira Vasconcelos, Gerente de Planejamento Ducol Engenharia em agosto de 2017.

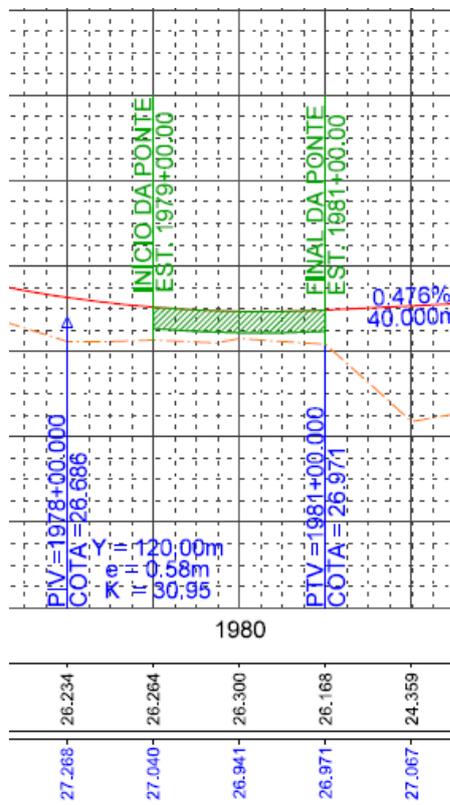
² Informação fornecida pelo engenheiro Ivar Hortegal em outubro de 2017.

Figura 17 – Estaqueamento e locação da ponte em projeto



Fonte: SINFRA (2013)

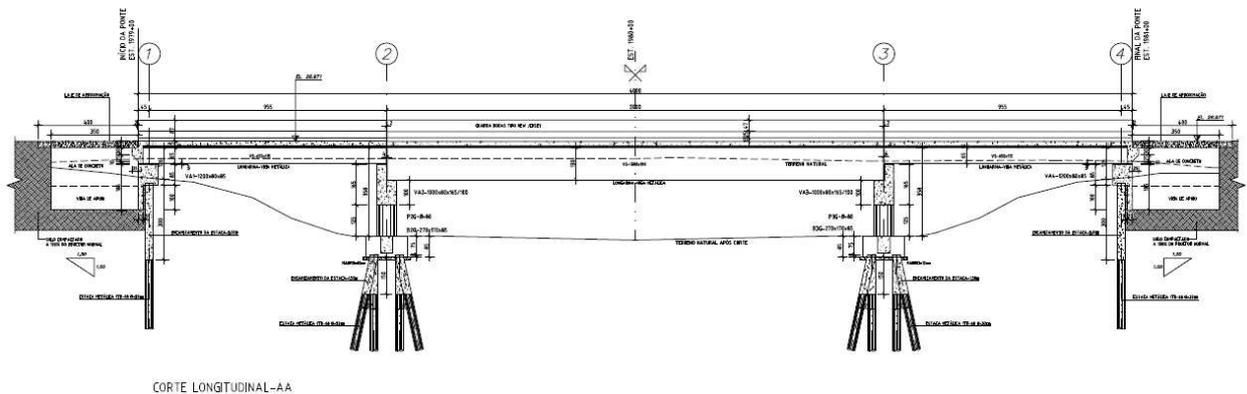
Figura 18 – Locação altimétrica com cota de terreno e greide de projeto



Fonte: SINFRA (2013)

A nova ponte, com essas dimensões, foi concebida com 1 vão de 20 metros central e 2 vãos de 10 metros nas extremidades e possui estrutura mista na superestrutura. As lajes são de concreto armado e longarinas metálicas (4 VS – 1300 x 199 no vão central e 4 VS – 650 x 145 em cada vão extremo, totalizando 12 longarinas). A fundação é constituída de estacas de trilho TR-68, encamisadas em concreto, blocos de coroamento e vigas de travamento, ligadas a mesoestrutura. A mesoestrutura é formada por pilares e viga berço com aparelhos de apoio em neoprene fretado (250 x 400 x 30 mm para o vão central e 200 x 250 x 30 mm para os vãos extremos), tudo composto de concreto armado (exceto os aparelhos de apoio) conforme demonstram as imagens do projeto, evidenciadas nas figuras a seguir (SINFRA, 2014):

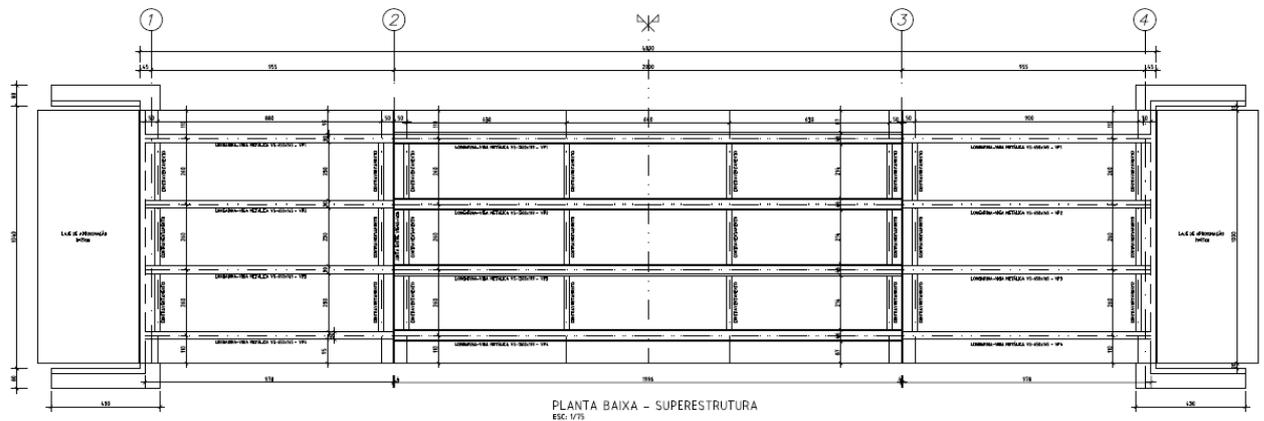
Figura 19 – Vista lateral do projeto da ponte 40 metros de vão



Fonte: SINFRA (2014)

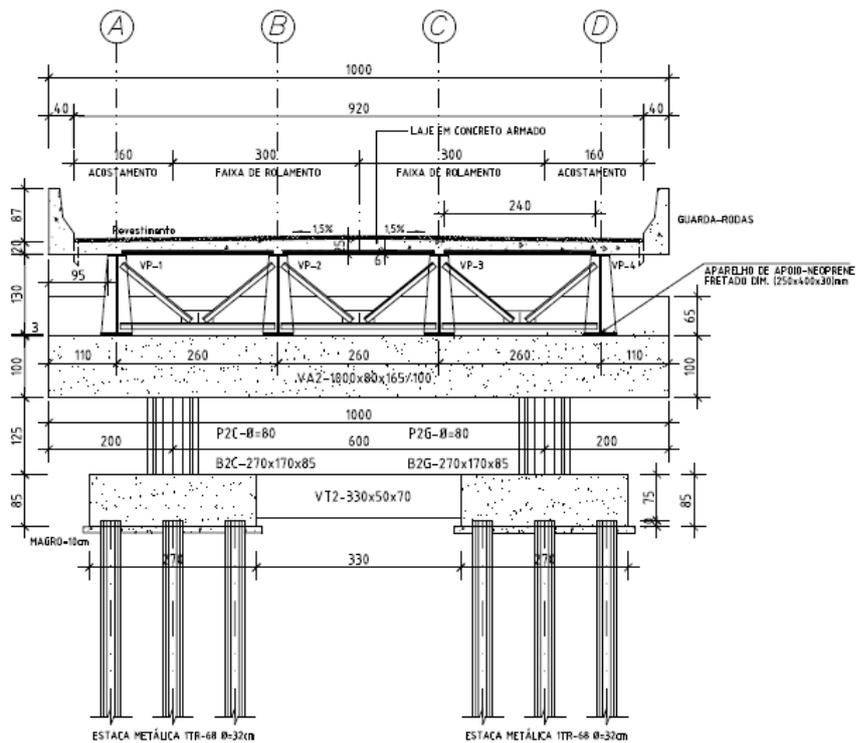
Com a representação acima, pode-se perceber claramente a configuração de uma ponte tipo viga. Os apoios nas extremidades e pilares são comprimidos, transmitindo os esforços para a infraestrutura, dissipando-se assim pelo solo da maneira adequada e segura.

Figura 20 – Locação e especificação das longarinas metálicas



Fonte: SINFRA (2014)

Figura 21 – Corte transversal retirado do projeto da ponte 40 metros de vão



Fonte: SINFRA (2014)

Com este projeto definido e aprovado pelo órgão SINFRA, a construtora iniciou a execução da obra.

5.1.3 Dados da execução da ponte versão 2 (extensão 40 metros e largura 20 metros)

Segundo a Ducol Engenharia, a execução da ponte se deu no período do final de 2015 à 2017 (com paralizações) normalmente, obedecendo as informações e recomendações de projeto (informação verbal).³ O processo de execução foi o seguinte:

- a) Execução de terraplenagem e controles tecnológicos;
- b) As estacas foram fincadas e encamisadas;
- c) Blocos montados e concretados;
- d) Vigas de travamento concretadas;
- e) Pilares concretados;
- f) Vigas berço concretada;
- g) Alas concretadas;
- h) Aplicação de aparelhos de apoio;
- i) Montagem de longarinas metálicas, com contraventamentos;
- j) Execução de pré-lajes.

A execução seguiu até a construção das lajes de concreto do vão extremo de 10 metros, realizando toda sua infraestrutura, mesoestrutura e parcialmente sua superestrutura. Seguem imagens da execução da ponte:

³Informação fornecida pelo engenheiro Teixeira Vasconcelos, Gerente de Planejamento Ducol Engenharia em agosto de 2017.

Figura 22 – Lançamento de vigas metálicas de vão de 10 metros



Fonte: DUCOL (2016)

Figura 23 – Visão lateral da viga berço com longarinas apoiadas



Fonte: DUCOL (2016)

Figura 24 - Execução de forma e armação da ala.



Fonte: DUCOL (2017)

Figura 25 – Pré-lajes concretadas, preparação para concretagem de vãos



Fonte: DUCOL (2017)

Figura 26 – Armação da ferragem de laje e preparação para concretagem



Fonte: DUCOL (2017)

O sequenciamento das atividades foi dado como proposto neste item, paralisando na etapa da concretagem das pré-lajes. Logo em seguida, é explicitado o motivo da paralisação.

5.2 Alagamento da ponte (inundação da ponte inclusive tabuleiro na enchente máxima)

A ponte estava no processo de construção de lajes de concreto quando o evento aconteceu, após a execução da infraestrutura e da mesoestrutura. Segundo a Ducol, no “inverno” nordestino (período de chuvas) de 2017, as cheias máximas do Igarapé do Arvoredo foram elevadas, de modo que a cota de enchente máxima pudesse ultrapassar o previsto no projeto de uma maneira que ficou acima do greide da ponte inviabilizando a obra, pois não cumpriu com a premissa de constar uma diferença de altura entre a face inferior das longarinas metálicas, no caso, a borda livre. A Máxima Cheia de Projeto (MCP) foi maior que o previsto, de modo que o nível da água atingisse além das longarinas metálicas. A elevação do nível da água fez com

que a ponte “sumisse” de vista das margens do rio, inundando totalmente o tabuleiro da ponte, como mostram as fotos (informação verbal):⁴

Figura 27 – Dia anterior a cheia máxima, pré-lajes já alagadas



Fonte: DUCOL (2017)

⁴ Informação fornecida pelo engenheiro Teixeira Vasconcelos, Gerente de Planejamento Ducol Engenharia em agosto de 2017.

Figura 28 – Elevação do nível do rio, impedindo as equipes de prosseguir com serviços



Fonte: DUCOL (2017)

Figura 29 – Ponte totalmente coberta pela água



Fonte: DUCOL (2017)

Dias após o evento, a construtora realizou fotos aéreas do local da ponte, onde ainda mostra o nível da água acima do nível de projeto. Com as fotos, foi estudado o fenômeno mais precisamente, para confirmar as hipóteses levantadas. Pelas imagens, pode-se perceber que o desvio construído também foi coberto pela enchente. Segue foto:

Figura 30 – Rio Igarapé Arvoredo em calmaria, dado para analisar



Fonte: DUCOL (2017)

5.3 Motivo do alagamento e nova cota

A projetista Maia Melo Engenharia foi acionada para poder se justificar do evento não ter sido previsto em projeto. A mesma refez os estudos hidrológicos e, em conjunto da investigação de campo, para poder emitir um parecer técnico sobre a enchente, presente em anexo no trabalho.

De acordo com a Maia Melo Engenharia: "...o comportamento hidráulico da malha fluviométrica local foi diferente do estabelecido nas recomendações do 'Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT', onde muda totalmente a metodologia de cálculo usada no projeto (versão 2).

Segundo a Maia Melo Engenharia (2017):

Devido a declividade média notoriamente baixa do terreno, tudo indica que a enchente do Igarapé Arvoredo observada na ponte da rodovia MA – 318 não foi originada pelo transbordamento das águas provenientes da bacia hidrográfica arriba da ponte, e sim pelo efeito do remanso do Rio Pindaré, destino final do Igarapé Arvoredo. Ou seja, em condições de enchente, o rio Pindaré não funciona como um canal e sim como uma bacia de acumulação de vazão excedente do Rio Pindaré.

Maia Melo Engenharia afirma que as baixas declividades resultam em baixas velocidades, vazão limitada e o consequente “retorno” das águas pelos cursos dos seus afluentes. Como consequência, a máxima enchente não pode ser calculada aplicando a metodologia recomendada pelo DNIT, a qual limita a verificação de remanso em 2 quilômetros ou menos da foz ou da junção de outro rio de maior porte. A distância entre o local da ponte e a estação mais próxima é de 13,9 quilômetros.

Para poder justificasse e ainda objetivar o parecer técnico, foi apresentado o levantamento de campo e cálculo da cota de greide revisada pela projetista. A projetista retirou dados da estação fluviométrica localizada na beira do rio Pindaré, na sede municipal de Alto Alegre, com registros de nível do período de janeiro de 2000 até dezembro de 2016.

Figura 31 – Simulação de enchente do rio Pindaré



Fonte: SINFRA (2017)

Figura 32 – Estação fluviométrica de Alto Alegre



Fonte: SINFRA (2017)

A especificação e localização da estação foi organizada, registrada e as informações são contemplados na tabela a seguir:

Tabela 1 - Dados da Estação fluviométrica

Código	33080000
Nome	ALTO ALEGRE
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS MEARIM, ITAPECURÚ E OUTROS (13)
Rio	RIO PINDARÉ
Estado	MARANHÃO
Município	ALTO ALEGRE DO PINDARÉ
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-3:39:53
Longitude	-45:50:30
Área de Drenagem (km²)	23400

Fonte: SINFRA (2017).

Dados retirados da estação no período de funcionamento mostraram que a altura máxima da água observada no rio Pindaré é de 758 centímetros, correspondente a 7,58 metros, retirados em maio de 2009. De posse da altura máxima, a Maia Melo engenharia desenvolveu a nova cota do greide revisado.

Seguindo o cálculo que a Maia Melo desenvolveu, primeiramente é determinada a declividade da área. Com dados da carta topográfica (1:100.000) do

IBGE, foi calculada a declividade entre o corte da curva de nível com cota 25 metros e a curva de cota 50 metros, separadas por uma distância de 80 quilômetros ao longo dos cursos de água;

$$\frac{50-25}{80.000} = 0,00031 = 0,031\% \quad (1)$$

Como se pode observar, a topografia da área não mostra uma diferença que possa ser considerada até entrarmos na escala quilométrica. Para cada quilômetro percorrido, 30 centímetros de desnível é notado. Mais uma vez se reafirma a justificativa mostrada pela Maia Melo Engenharia.

Aplicando a declividade calculada na distância entre a ponte do Igarapé Arvoredo e seu desemboque no rio Pindaré, que é igual a 13,900 quilômetros, é encontrada a cota do terreno no local da ponte. Seguindo o cálculo da Maia Melo:

$$13.900 \times 0,00031 = 4,309 \text{ m} \quad (2)$$

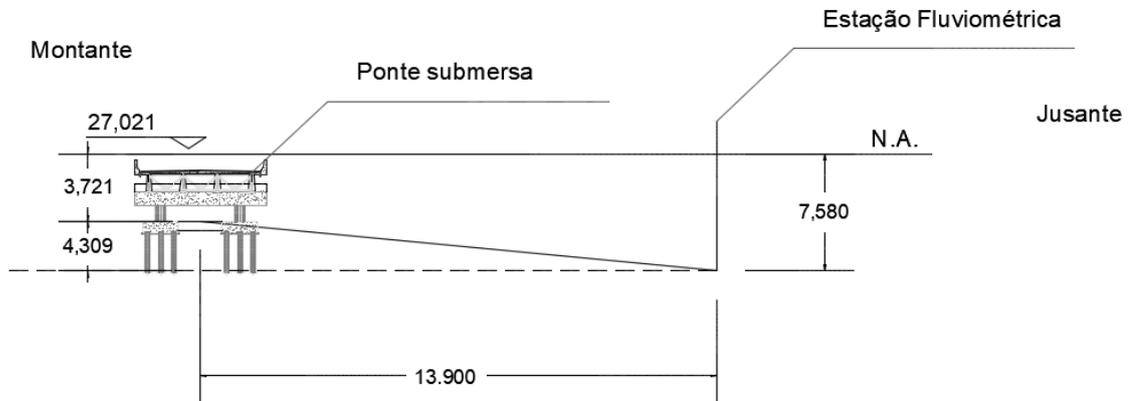
Com o valor encontrado acima, e fazendo a diferença entre a altura máxima da água na estação fluviométrica, é possível encontrar o nível da água da cheia máxima no local da ponte na Máxima Enchente (ME), ao somar a diferença com a cota do fundo da ponte (23,700), fornecido pelas batimetrias mais recentes a altura do remanso;

$$7,580 - 4,309 = 3,271 \text{ m} \quad (3)$$

$$ME = 23,700 + 3,721 = 27,021\text{m} \quad (4)$$

O valor encontrado (4) é o valor da cota da enchente máxima teórica, compatível com o real em campo. Veja a imagem a seguir com o esquema para calcular a cota ME:

Figura 33 – Esquema de definição da ME



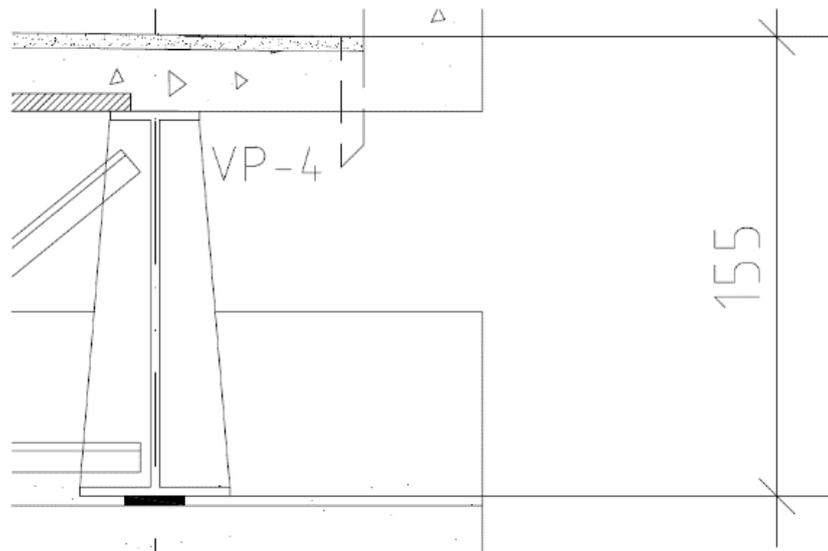
Fonte: Adaptado de SINFRA (2017)

Para definição da nova cota do greide, foi proposto adotar uma enchente de 50 centímetros acima do greide da ponte (que é de 26,971), dada a grande variabilidade de variáveis e fatores imprevistos, dando mais segurança:

$$ME = 26,971 + 0,50 = 27,471m \quad (5)$$

Ao seguir o recomendado pelo Manual de Projeto de Obra de Arte Especiais do DNIT, deve ser considerada uma altura livre de 0,50 metros acima da máxima enchente, para bacias de represamento. Foi levado em consideração, para reconstrução, o reaproveitamento da estrutura metálica, e para isso, esta não poderia entrar em contato com a água no novo greide. Então a distância mais desfavorável, no caso da viga central, até a altura do pavimento, retirada de projeto, é igual a 1,55, como mostra a figura a seguir:

Figura 34 – Cota retirada de projeto da diferença entre viga metálica e pavimento



Fonte: Adaptado de SINFRA (2017)

Assim, finalmente a Maia Melo encontrou o novo greide a ser considerado na adequação do projeto a ponte do Igarapé Arvoredo:

$$\begin{aligned} \text{Cota revisada} &= ME + \text{altura livre} + \text{estrutura} = 27,471 + 0,5 + 1,55 = \\ &29,521m \end{aligned} \quad (6)$$

Em outras palavras, a ponte ficará 2,55 metros acima do projeto original, ou seja, seu greide, subirá 2,55 metros em relação ao que estava previsto, para que fatos como este não voltassem a ocorrer.

5.4 Solução estrutural adotada

De acordo com a construtora, em comum acordo com a SINFRA, foi decidido a elaboração de um novo projeto para elevar (erguer) a ponte em 2,55 m de altura, conforme proposto pela projetista Maia Melo Engenharia. A ponte iria receber mais um aditivo, em decorrência da enchente máxima cobri-la. Foi proposto que o engenheiro Ivar Hortegal, que possuía conhecimentos e familiaridade com o projeto anterior, fosse convocado novamente para esta etapa, aproveitando o máximo das estruturas que estavam construídas (informação verbal).⁵

Segundo a orientação da Duacol Engenharia, Hortegal deveria incorporar todas as estruturas da ponte que pudessem ser aproveitadas, evitando sua demolição,

⁵ Informação fornecida pelo engenheiro Ivar Hortegal em outubro de 2017.

a não ser aquelas que realmente fossem inevitáveis. O engenheiro se preocupou também com os novos esforços extras que as modificações da ponte sofreriam (tais como aumento das cargas verticais e horizontais), aplicando os reforços necessários para manter a segurança da ponte. Partindo dessa premissa, o novo projeto da ponte Igarapé do Arvoredo foi elaborado e chamado de versão 3. No novo projeto, foram acrescentados (informação verbal):⁶

- a) Reforço na fundação de 4 estacas raiz por bloco, devido ao aumento dos esforços verticais (peso próprio) e principalmente horizontais (água corrente do rio, vento, impacto de materiais sólidos, frenagens, acelerações e empuxo de terra da cabeceira);
- b) Blocos de coroamento das estacas de fundação ancorados e concretados nos blocos existentes;
- c) Pilares retangulares ancorados nos blocos e nos pilares existentes, incorporando a viga berço, evitando sua demolição;
- d) Vigas berço, nos topos dos pilares retangulares na nova cota, para receber a estrutura metálica;
- e) Cortinas e alas nos padrões do projeto original, bem como pilares, em cada extremidade.

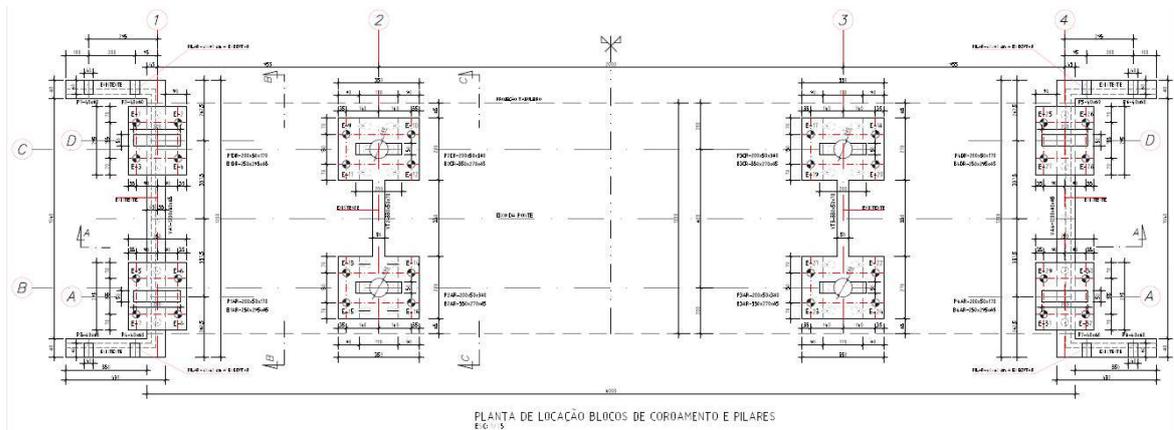
Todas estas alterações foram aprovadas pela construtora e SINFRA, onde foram quantificados do trabalho extra e do retrabalho, de modo a prosseguir o processo do aditivo.

5.4.1 Vistas e cortes da ponte já elevada e reforçada

O novo projeto foi elaborado usando a mesma base do projeto anterior, apenas destacando as modificações. Dessa maneira, fica evidente quais elementos exatamente foram acrescentados. Seguem imagens retiradas do projeto estrutural:

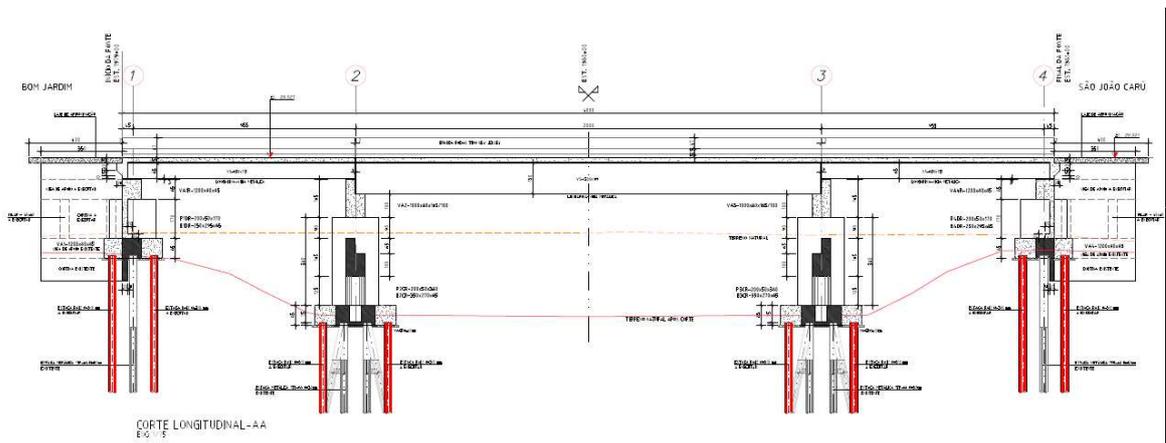
⁶ Informação fornecida pelo engenheiro Ivar Hortegal em outubro de 2017.

Figura 35 – Planta baixa da adequação bem como locação de novas estacas



Fonte: SINFRA (2017)

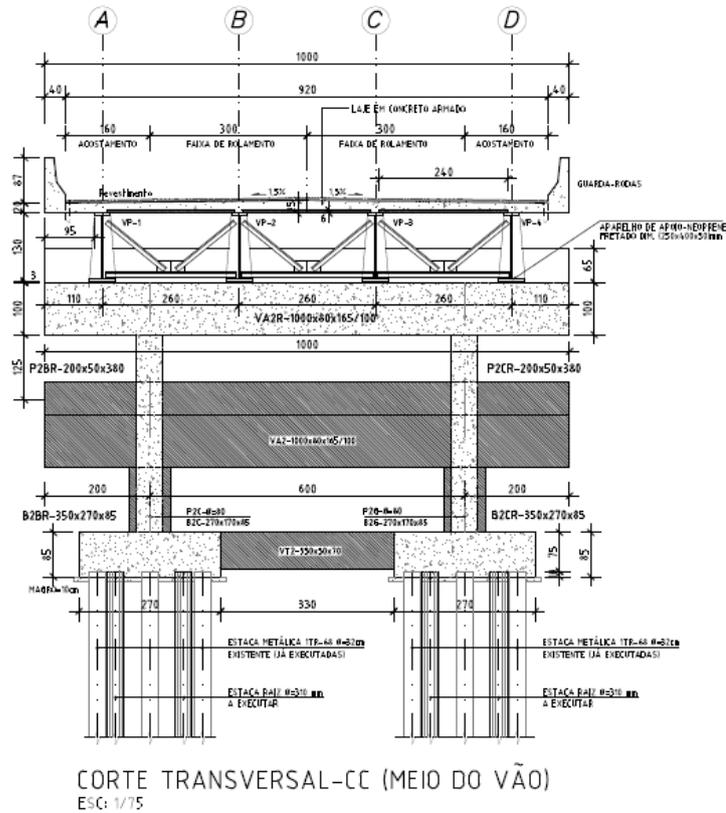
Figura 36 – Vista longitudinal do projeto estrutural adequado mostrando alterações



Fonte: SINFRA (2017)

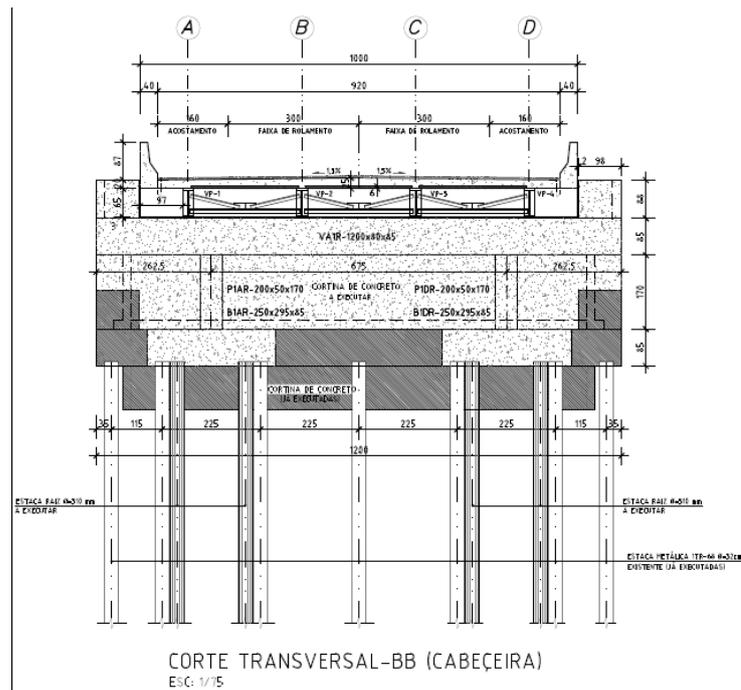
Podem-se ver nos destaques, os elementos acrescentados, como estacas raízes, alargamento do bloco e pilares retangulares, bem como as novas vigas berço e aumento das alas. O engenheiro da SINFRA, Jailson Rego, elaborou uma representação em 3D para ilustrar melhor os elementos que serão acrescentados.

Figura 37 – Corte central visualizando a sessão transversal



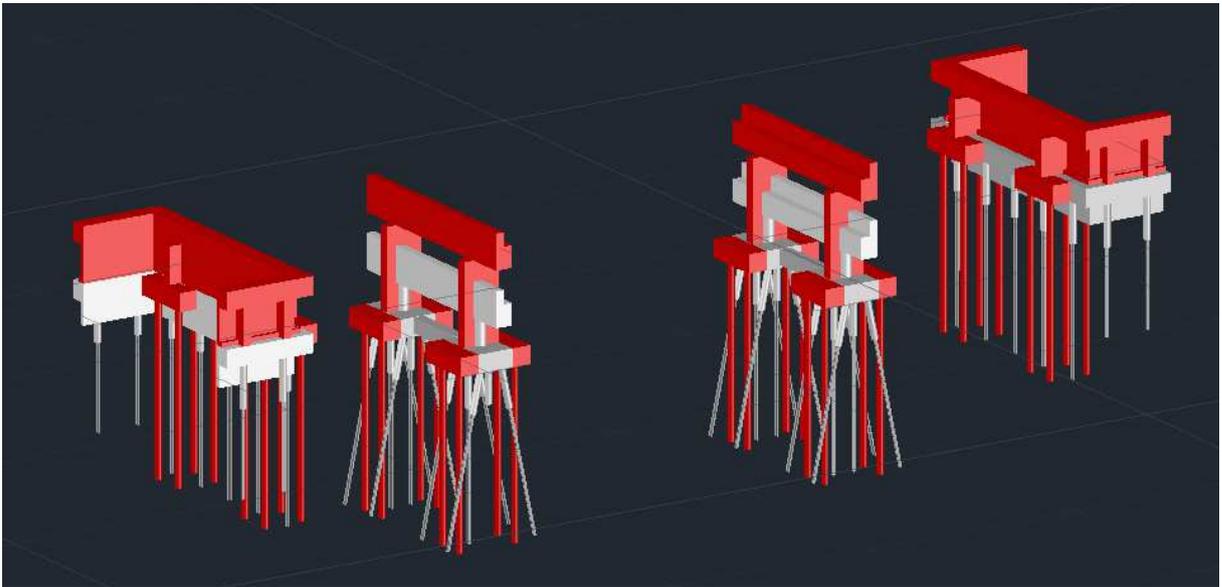
Fonte: SINFRA (2017)

Figura 38 – Corte no vão da extremidade visualizando a seção transversal



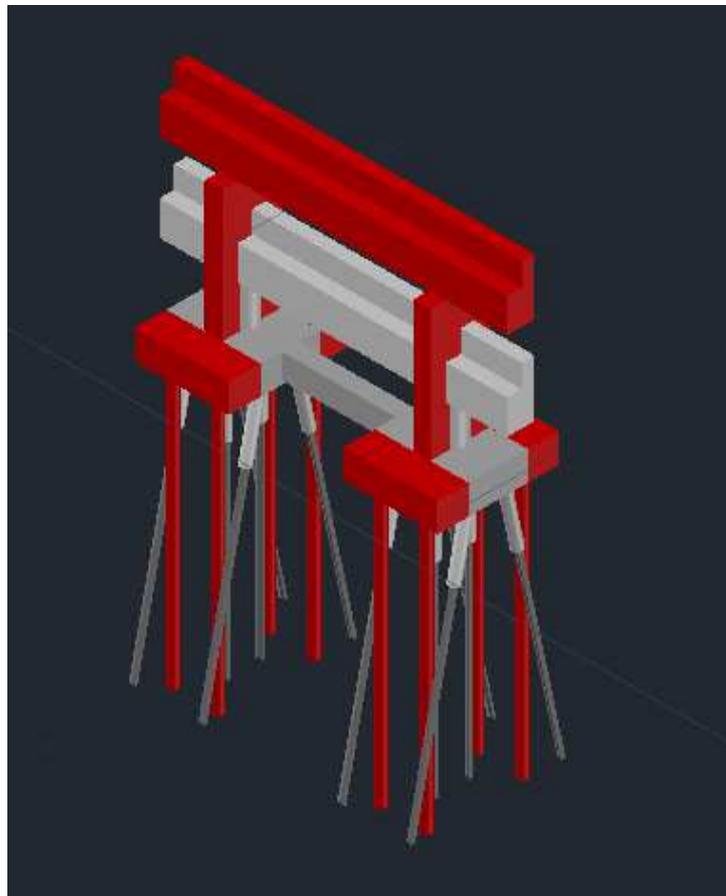
Fonte: SINFRA (2017)

Figura 39 – Representação 3D da nova configuração da infra e mesoestrutura da ponte.



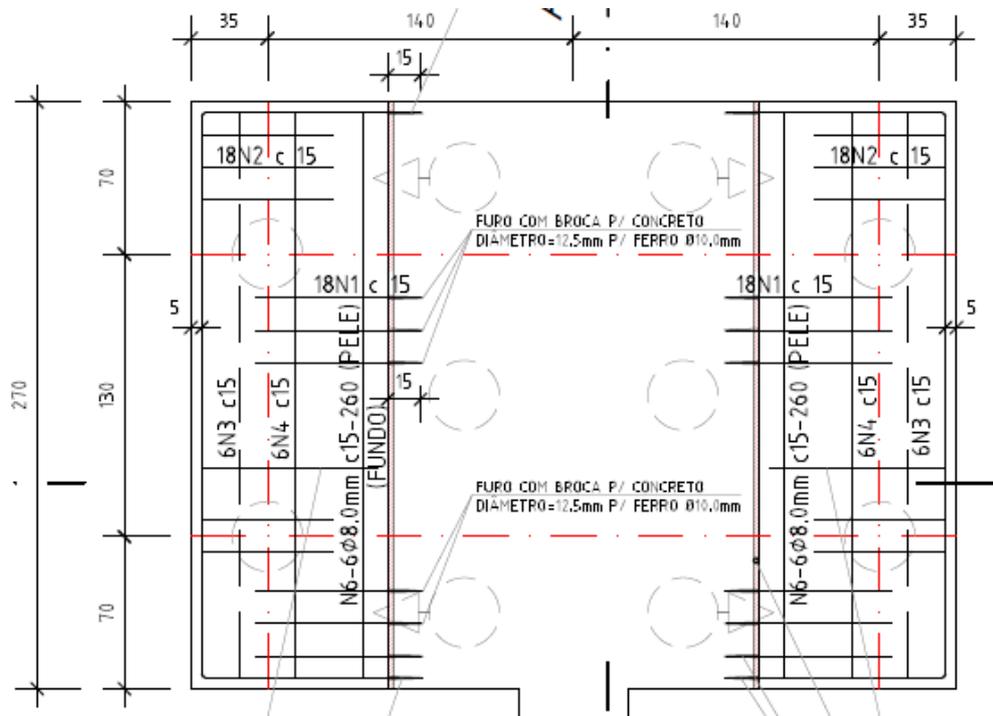
Fonte: REGO (2017)

Figura 40 - Representação do modelo de infra, mesoestrutura de um apoio da ponte



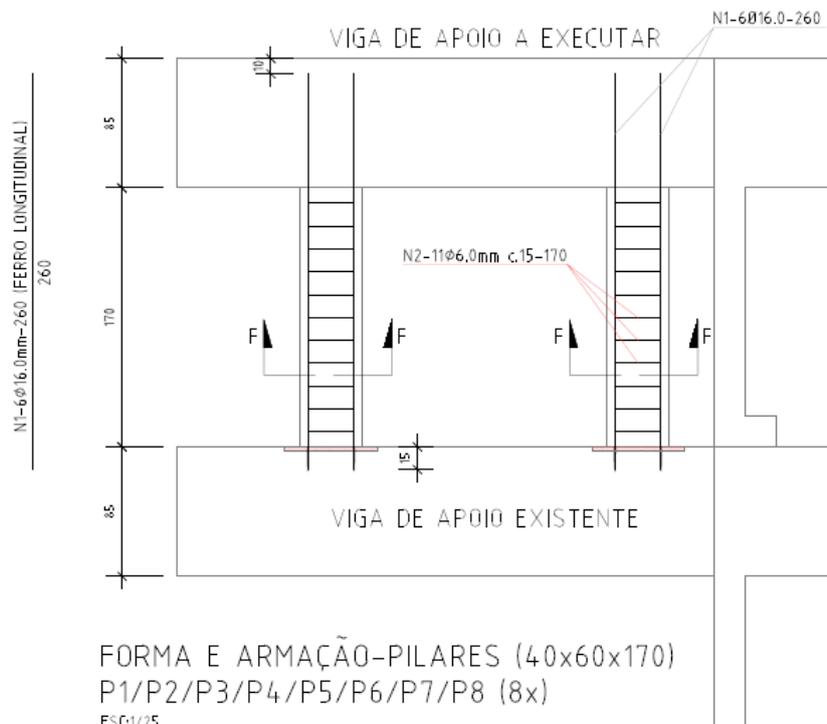
Fonte: REGO (2017)

Figura 42 – Blocos de concreto adequados e ancorados aos existentes



Fonte: SINFRA (2017)

Figura 43 – Pilares de sustentação das novas alas das extremidades



Fonte: SINFRA (2017)

5.5 Fase de execução da adequação

Após o período da enchente máxima, com o retorno do nível da água para os parâmetros adequados, e de posse do novo projeto aprovado, a construtora pôde dar início ao que foi proposto. De modo a executar o projeto (versão 3) da ponte do Igarapé do Arvoredo, deve-se levar em consideração que o mínimo da sua estrutura pode ser demolido, evitando maiores gastos. Para isso, pôde-se aproveitar sua infraestrutura e mesoestrutura de forma intacta, apenas executando os reforços necessários para as novas ações citadas no item anterior. Já na sua superestrutura, apenas as vigas metálicas e poucas pré-lajes poderiam ser aproveitadas, tendo vista que parte dos tabuleiros de concreto já estavam prontos. Dessa maneira, não houve outra alternativa a não ser a demolição desses elementos já executados (informação verbal).⁷ Seguem as imagens mostrando a situação da ponte após o nível da água atingir altura adequada:

Figura 44 – Situação da ponte após o nível da água abaixar



Fonte: DUCOL (2017)

⁷ Informação fornecida pelo engenheiro Ivar Hortegal em outubro de 2017.

Figura 45 – Laje de tabuleiro concretada



Fonte: DUCOL (2017)

De modo a continuar as obras, foi proposto seguir a lógica de execução a seguir (informação verbal)⁸:

- a) Demolir lajes de concreto: Primeiramente, como não houve alternativa para o aproveitamento das lajes de concreto, a atividade deu início à reforma da ponte. Essas estruturas serão demolidas e retiradas;
- b) Retirar as pré-lajes dos vãos não concretados: Os elementos das pré-lajes não concretados puderam ser aproveitados. Como são estruturas pré-moldadas e apoiadas no local, será executada a retirada e estocagem desses elementos;
- c) Retirar estrutura metálica de todos os vãos: Seguindo a execução da reforma, as longarinas serão aproveitadas, podendo apenas ser retiradas e estocadas;
- d) Reforçar a fundação com a cravação de estacas raízes de concreto: De modo a combater os novos esforços gerados, a cravação de estacas raízes foram previstas para a execução. Ao todo serão 32

⁸ Informação fornecida pelo engenheiro Ivar Hortegal em outubro de 2017.

estacas raízes executadas para transferir esses esforços ao solo da maneira adequada. O ponto principal da escolha desta fundação para reforçar a existente foi o método executivo. As estacas raízes permitem a execução de modo que não comprometa a integridade da fundação existente. Utilizar a mesma fundação em estacas metálicas cravadas, onde o equipamento utilizado é o bate estaca, por estar próximo dos blocos concretados, dificultaria a execução da mesma, também podendo danificar ou desajustar a fundação. Além disso, o controle de profundidade e posicionamento é bem mais eficiente com estacas raízes. Dessa maneira, esse tipo de fundação foi a escolha correta para o reforço. Segue imagem de execução para essa etapa:

Figura 46 – Equipamentos para cravação da estaca raiz



Fonte: (DUCOL ,2017)

Figura 47 – Cravação de estacas raízes



Fonte: (DUCOL,2017)

Figura 48 – Esperas para ancoragem em prolongamento de bloco



Fonte: (DUCOL, 2017)

- e) Construir os blocos de coroamento ancorados nos existentes: Os blocos de coroamento existentes transferiam os esforços para as estacas metálicas. Com o acréscimo de estacas raízes, os blocos de coroamento serão reforçados, onde os prolongamentos vão receber as estacas raízes. Assim, a cada bloco, 4 estacas raízes foram acrescentadas. A estrutura possui um total de 8 blocos alargados, assim totalizou 32 estacas raízes. Os novos blocos possuem as mesmas características dos blocos antigos, sendo constituídos de concreto armado, e ancorados nos existentes;

Figura 49 – Forma para concretagem de prolongamento de bloco



Fonte: DUCOL (2017)

Figura 50 – Blocos concretados e espera de pilares retangulares

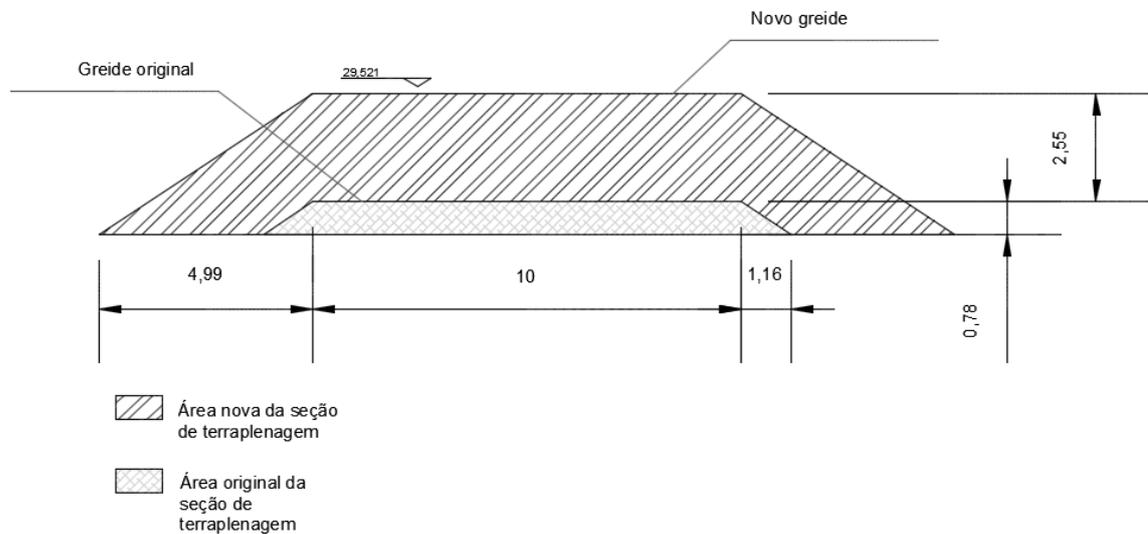


Fonte: DUCOL (2017)

- f) Construir pilares retangulares ancorados nos blocos e nos pilares existentes, abraçando as vigas berço existentes: Com o aumento das ações, os novos pilares são necessários para a transmissão dos esforços para os blocos de coroamento. O perfil retangular foi pensado de modo a acompanhar o alargamento dos blocos pelas laterais, podendo incorporar os elementos existentes;
- g) Construir pilares das alas: Com a elevação da superestrutura, as novas alas serão apoiadas nas alas anteriores através dos pilares, de modo a formar uma nova estrutura de contenção de empuxo lateral de terra;

- h) Construir novas vigas berço com aparelhos de apoio na nova cota: As novas vigas berço são o próximo elemento seguido dos pilares retangulares, e ficam bem acima das vigas de apoio anteriores. A nova configuração propõe que a nova viga berço receba os esforços das longarinas, enquanto a viga berço inferior contribua para engastar os novos pilares horizontalmente, promovendo maior estabilidade. Após isso, os aparelhos de apoio serão montados;
- i) Montar as vigas metálicas com contraventamento: Com as longarinas aproveitadas da configuração antiga, foi executada a nova superestrutura, apoiadas nos aparelhos de apoio;
- j) Posicionar as novas pré-lajes: A montagem das pré-lajes sucede nas atividades de execução, utilizando novas estruturas e as estruturas antigas aproveitadas da configuração antiga;
- k) Concretagem das lajes e guarda-rodas: Esses itens são apenas retrabalho, então não há nenhuma consideração a fazer no que diz respeito a algum detalhe diferenciado quanto à reforma;
- l) Concretagem das cortinas e alas: Deve-se atentar a essa atividade com a disposição dos pilares. O método é similar a concretagem de uma ala comum, apenas com atenção especial à ancoragem com o elemento existente;
- m) Terraplenagem das cabeceiras: É importante lembrar que a ponte se elevou 2,55 m, e assim as cabeceiras precisam passar por um novo processo de terraplenagem. Conforme a figura 11, o talude de aterro é composto pela proporção 2:3, ou seja, para cada 2 m de altura, é preciso uma distância horizontal de 3 m. De posse do perfil de terraplenagem e diferença de greide com terreno natural, a saia de aterro aumentou de 1,16 m para aproximadamente 5 m. Assim, a configuração da adequação do talude segue o esquema a seguir:

Figura 51 – Seção de terraplenagem nas extremidades da ponte



Fonte: Adaptado de SINFRA (2017)

Todas as mudanças, acréscimo e retrabalho decorrente da enchente do Igarapé do Arvoredo foram contabilizados no aditivo.

5.6 Reflexo financeiro nos custos iniciais

Ao retornar aos estudos sobre a adequação de projeto, vale ressaltar também o reflexo financeiro. A execução da versão 2 do projeto (primeira execução da ponte) estava orçada em R\$ 1.145.732,40 (Um milhão, cento e quarenta e cinco mil, setecentos e trinta e dois reais e quarenta centavos) (SINFRA, 2017). Esse valor estava compreendido de:

- a) Serviços preliminares: Constitui de desmatamento, remoção e transporte de vegetação, limpeza do terreno, locação da obra, investigações geológicas e sondagens, demolições e remoções, projeto executivo e construção de desvio, totalizando R\$ 79.648,49;
- b) Movimentação de Terra: Compactação de aterros e fundações em TR 68, totalizando R\$ 120.409,32;
- c) Estruturas de concreto: Todas as estruturas de concreto da ponte com forma, armação e o concreto propriamente dito, totalizando R\$ 291.551,89;
- d) Juntas de vedação e dilatação: Aparelhos neoprene, totalizando R\$ 6.345,12

- e) Estruturas metálicas: Longarinas metálicas e transporte, totalizando R\$ 647.604,82;
- f) Drenos: Tubos para drenagem tubo 75 milímetros, totalizando R\$ 172,76

Em decorrência da elevação do greide da ponte, não apenas foi contabilizado o retrabalho com demolições e novas estruturas, mas também a nova mobilização de equipamentos, construção de novo desvio (o desvio existente também foi coberto pelas águas da enchente). Novos quantitativos foram levantados e organizados em uma memória de cálculo, de onde as quantidades do novo orçamento foram utilizadas. Segue imagem da memória de cálculo parcial:

Figura 52 – Memória de quantitativos da adequação

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA - SINFRA		SECRETARIA ADJUNTA DE PROJETOS - SEAPROJ		GOVERNO DO MARANHÃO		SECRETARIA DE TRIBUTAÇÃO					
MEMÓRIA DE CÁLCULO											
RODOVIA MA-318 - TRECHO: BOM JARDIM / SÃO JOÃO DO CARÚ - PONTE S/ O IGARAPÉ ARVOREDO - EXT.: 40,0 M - LARG.: 10,0 M - ALTEAMENTO											
1. Desmontagem de armadura em aço CA-50 - qualquer diâmetro (guarda-corpos "New Jersey")											
Estrutura	Posição	Peso (kg)	Peso total (kg)								
Guarda-rodas 1M	N1-10Ø8.0-994	39,00	190,00								
	N3-67Ø8.0c15-210	56,00									
Guarda-rodas 1J	N1-10Ø8.0-994	39,00									
	N3-67Ø8.0c15-210	56,00									
2. Demolição de concreto armado											
Peça	Quantidade	Compr. (m)	Largura (m)	Altura (m)	Encamis. (m)	Ø (m)	C. Magro (m)	Fôrma (m²)	F. Curva (m²)	Aço (kg)	Concreto (m³)
Ala Frontal E1		10,00	0,20	0,65							2,21
		10,00	0,40	0,30							1,20
		10,00	0,33	0,25							0,81
		10,00	0,20	0,10							0,20
Ala Lateral E1M		5,28	0,20	0,95							0,97
		0,98	0,20	0,95							0,19
		4,10	0,20	0,95							0,78
Ala Lateral E1J		5,28	0,20	0,95							0,97
		0,98	0,20	0,95							0,19
		4,10	0,20	0,95							0,78
Laje Tabuleiro		10,00	10,00	0,225							22,50
		Eixo	10,00			0,25					
	Extremo	10,00				0,20					
Ala Lateral E2M		5,28	0,20	0,95							0,97
		0,98	0,20	0,95							0,19
		4,10	0,20	0,95							0,78
Ala Lateral E2J		5,28	0,20	0,95							0,97
		0,98	0,20	0,95							0,19
		4,10	0,20	0,95							0,78
TOTAL											28,57

Fonte: SINFRA (2017).

O orçamento finalizado atingiu o valor de R\$ 1.654.704,07 (Um milhão, seiscentos e cinquenta e quatro mil, setecentos e quatro reais e sete centavos). Ou

seja, houve um acréscimo de R\$ 508.971,67 (quinhentos e oito mil, novecentos e setenta e um reais e sessenta e sete centavos), como mostrado na tabela a seguir:

Tabela 2 – Estudo do aditivo do contrato (resumo referente ao aditivo decorrente da enchente)

 3ª ADEQUAÇÃO DE QUANTITATIVOS E PREÇOS 				
DUCOL ENGENHARIA LTDA.			DATA BASE:	
ITEM	DISCRIMINAÇÃO	CUSTO TOTAL DO ITEM (R\$)		REFLEXO FINANCEIRO (R\$)
		1ª ADEQUAÇÃO	3ª ADEQUAÇÃO	
15	PONTE 03 - IGARAPÉ DO ARVOREDO (Comp.=20m) - Comp.=40m	1.145.732,40	1.654.704,07	508.971,67
1501	SERVIÇOS PRELIMINARES	79.648,49	210.224,42	130.575,93
1502	MOVIMENTAÇÃO DE TERRA	120.409,32	120.409,32	0,00
1503	ESTRUTURAS DE CONCRETO	291.551,89	291.551,89	0,00
1504	JUNTAS DE VEDAÇÃO E/OU DILATAÇÃO - FORNECIMENTO E APLICAÇÃO	6.345,12	6.345,12	0,00
1505	ESTRUTURAS METÁLICAS	647.604,82	647.604,82	0,00
1506	DRENOS	172,76	172,76	0,00
1507	DESMONTAGEM DA ESTRUTURA CONSTRUÍDA	0,00	27.009,00	27.009,00
1508	INFRAESTRUTURA (REFORÇO NAS FUNDAÇÕES)	0,00	163.078,25	163.078,25
1509	MESOESTRUTURA	0,00	110.688,24	110.688,24
1510	SUPERESTRUTURA	0,00	77.620,25	77.620,25

Fonte: SINFRA (2017)

Dentre os serviços mostrados no reflexo financeiro, os serviços a serem realizados além do orçamento original são:

- Serviços Preliminares: A construção do novo desvio de tráfego, totalizando R\$ 130.575,93;
- Desmontagem da estrutura construída: Compreende a desmontagem das pré-lajes e vigas metálicas, totalizando R\$ 27.009,00;
- Infraestrutura (Reforço das fundações): Compreende a cravação das estacas raízes, forma, armação e concretagem dos blocos de transição prolongados, totalizando R\$ 163.078,25;
- Mesoestrutura: Construção de pilares retangulares e vigas de apoio, totalizando R\$ 110.688,24;
- Superestrutura: Montagem de vigas metálicas, pré-lajes e concretagem das lajes e alas, totalizando R\$ 77.620,25.

Vale ressaltar que o reflexo financeiro reflete apenas nos serviços realizados sobre a ponte. Não foi levado em consideração a adequação do greide nos trechos que antecedem e sucedem a ponte, com inclinações e tangentes que obedecem a norma. Caso fosse também contemplado, o valor seria bem maior.

5.7 Atirantamento com tirantes de protensão tipo Dywidag

Abrindo uma reflexão decorrente da recuperação da ponte sobre o Igarapé Arvoredo, vale citar a tecnologia de reforço de estruturas existentes utilizando a tecnologia de protensão com tirantes do tipo Dywidag. Atualmente pode-se melhorar o desempenho das estruturas de concreto reforçando, com o alargamento ou aumento de seção com emendas de concreto, incorporando no conjunto, um atirantamento protendido. Segue imagem do conjunto da solução:

Figura 53 – Modelo de tirante Dywidag



Fonte: Página de catálogo de empresa.⁹

De acordo com a Dywidag-Systems International (DSI, 2017):

Há mais de 40 anos no Brasil, a Protendidos DYWIDAG, empresa do Grupo DSI, é especializada no desenvolvimento e aplicação de sistemas de protensão com barras de aço para os mais diversos mercados da Construção Civil, como Geotecnia, Estruturas de Concreto Protendido, Recuperações de Estrutura, Linhas de Transmissão e outros.

⁹Disponível em: < <https://www.dywidag.com.br/> > Acesso em nov. 2017.

Para DSI (2017):

Os sistemas de protensão com barras de aço DYWIDAG tornaram-se uma ferramenta importante na engenharia civil, tanto em aplicações geotécnicas, permanentes ou provisórias, como também em diversas soluções estruturais. O sistema consiste na utilização de barras de aço especiais como elemento resistente a tração, com porcas e placas de ancoragem que distribuem a carga aplicada sobre a estrutura ancorada. Proporciona um método simples, seguro e eficiente de se aplicar protensão com ancoragens em terra ou rocha, bem como para diversas aplicações estruturais.

As barras são montadas e posicionadas antes da concretagem, para que possam ser tracionadas na tensão desejada depois da concretagem do elemento estrutural, aumentando a capacidade resistiva do concreto.

Similar ao sistema Dywidag, há também os sistemas GEWI & GEWI Plus. DSI (2017) afirma que, “os sistemas GEWI e GEWI Plus são compostos por barras e componentes de ancoragem de alta capacidade, diferenciando-se dos sistemas DYWIDAG apenas pelas propriedades mecânicas do aço.” Então esses tirantes geram protensão na estrutura desejada.

As barras são ancoradas com a utilização de placas e porcas de ancoragem, fazendo com que não permita escorregamentos quando a força de protensão é reduzida devido a movimentações do solo ou da estrutura. (DSI, 2017). A imagem a seguir ilustra a ancoragem:

Figura 54 – Ancoragem Dywidag



Fonte: Página de catálogo de empresa.¹⁰

¹⁰ Ibid. p.60

Figura 55 – Recuperação estrutural tipo Dywidag



Fonte: Página de catálogo de empresa.¹¹

Investir em novas tecnologias e tomar conhecimento dos benefícios é indispensável para a concepção de futuras soluções como apresentado nos itens anteriores.

¹¹ Ibid. p.60

6 CONCLUSÃO

Com base nos itens anteriores, foram conhecidos os elementos presentes em uma OAE, agrupados por infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura. Foram conhecidos também os tipos de ponte, para enquadrar a ponte focada neste trabalho e assim poder entender seu funcionamento. Uma breve introdução sobre estradas para entender de que a obra como um todo se trata. Somado a esses conhecimentos, fez-se um estudo básico também sobre os rios e orçamentos, de modo a poder compreender a linguagem e artifícios utilizados no trabalho.

Através das informações do estudo de caso sobre a ponte do Igarapé do Arvoredo, pode-se constatar que o evento foi único, não previsto em projeto e nas recomendações do DNIT, onde coube a aprovação de um aditivo, custando um total de R\$ 508.971,67 (quinhentos e oito mil, novecentos e setenta e um reais e sessenta e sete centavos).

O custo indesejado calculado foi apenas financeiro, entretanto é importante lembrar que demandou-se tempo e esforço de modo a corrigir o projeto e executar a ponte, dessa vez, na cota adequada. Abrir espaço para o cálculo do custo total que o evento desencadeou foge do objetivo do trabalho, entretanto é possível mensurar e ainda estudar melhor este lado do assunto.

O principal ponto que se pode concluir é a forma como foi abordada a solução ao problema. O pensamento inicial que se pode ter ao acontecer uma enchente sobre uma ponte seria condená-la, demolir e construir outra. Entretanto, acatando aos interesses da construtora e do cliente (SINFRA), foi elaborada a solução de menor custo, aproveitando a estrutura e, conseqüentemente, o trabalho realizado. Uma solução viável que evitou a primeira opção mais comum a se decidir.

Com casos dessa maneira, é indispensável tomar nota e prevenir que tais acontecimentos ocorram novamente, com o estudo da área para elaboração de novas premissas de cota máxima do nível da água. Como citado anteriormente, as condições do local e topografia contribuíram para o evento, e podem ser evitadas.

A importância desse estudo é totalmente voltada para poupar gastos e ser mais eficiente na execução das obras, sejam privadas ou estatais. O prejuízo da enchente indiretamente atinge todos cidadãos do Maranhão e estados vizinhos, onde uma obra rodoviária que liga as cidades de Bom Jardim e São João do Carú, tem impactos enormes.

Uma proposta para futuros trabalhos é estudar mais a fundo sobre o evento, visto que neste trabalho buscou-se citar a enchente, a justificativa da projetista e então discorrer a respeito da solução adotada pela construtora. Um estudo mais aprofundado no âmbito hidrológico se faz necessário para comprovar se, mesmo seguindo as recomendações da norma, problemas como esse podem voltar a acontecer.

Outra proposta para futuros trabalhos seria repensar em uma solução estrutural com o uso de uma tecnologia atual e sofisticada, como citada nos últimos subitens do item 5 – Resultados e discussões. Ao ver a viabilidade de custo, tempo, esforço e recursos demandados para a execução do mesmo objetivo é o grande foco da engenharia no presente. Conter custos, poupar tempo e se beneficiar com novos artifícios e tecnologias desenvolvidas é para onde o mercado de trabalho se impulsionará.

É importante também aprofundar os estudos para evitar acontecimentos similares em outras áreas similares, porém distantes da região do oeste maranhense. Dessa forma, a engenharia se desenvolve, beneficiando toda a humanidade.

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR7188. **Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre**. 2a ed. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em < https://engenhariacivilftc.files.wordpress.com/2015/10/nbr-7188_2013.pdf>. Acesso em: 19 set. 2017.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8a ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 669p. Disponível em < https://kupdf.com/download/manual-de-hidraulica-azevedo-neto-8-ediao-copiapdf_59a12a2fdc0d60a84018496b_pdf> Acesso em: 21 ago. 2017.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, v. 504, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Manutenção de Obras de Arte Especiais – OAES**. 1. Ed. Brasília D.F. 2016 (IPR. Publicação – XXX). Disponível em < <http://ipr.dnit.gov.br/noticias/novas-normas-em-consulta-publica/minuta-manual-de-manutencao-oaes.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2017.

DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL – DSI. **Sistemas de Protensão com Barras DYWIDAG**. Aplicações Estruturais. São Paulo, 201-. Disponível em < https://www.dywidag.com.br/uploads/media/DSI_Protendidos_Sistemas_de_Protensao_com_Barras_DYWIDAG_Aplicacoes_Estruturais_LA.pdf> Acesso em: 20 nov. 2017.

DYWIDAG-SYSTEMS INTERNATIONAL – DSI. **Sistemas de Protensão com Barras DYWIDAG**. Aplicações Geotécnicas. São Paulo, 2018. Disponível em < https://www.dywidag.com.br/uploads/media/DSI_Protendidos_Sistemas_de_Protensao_com_Barras_DYWIDAG_Aplicacoes_Geotecnicas_Brasil_LA_01.pdf> Acesso em: 20 nov. 2017.

FREITAS, Eduardo. **Rios**. Brasil Escola. Disponível em: < <http://brasilecola.uol.com.br/geografia/rios.htm>> Acesso em: 13 nov. 2017

LIBRELOTTO, Liziane I. et al. **Orçamento de obras**. Construção civil. Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. Florianópolis, 2003. Disponível em < <http://pet.ecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/ECV5307-%20Orçamento.pdf>> Acesso em: 10 out. 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos - Guia PMBOK**. 4a ed. Newtown Square, Pennsylvania, USA: Project Management Institute, 2008.

PROTENDIDOS DYWIDAG Ltda. **Sistemas de Protensão com Barras DYWIDAG**. São Paulo, 2018. Disponível em < <https://www.dywidag.com.br/produtos/sistemas->

de-protensao-reforços-estruturais/sistemas-de-protensao-com-barras-dywidag/sistemas-protendidos-dywidag.html> Acesso em: 20 nov. 2017.

RIBEIRO, Amarolina. **Partes de um rio**. Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/partes-um-rio.htm>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO MARANHÃO. **Projeto executivo de engenharia para obras de melhoramentos e pavimentação**. Maia Melo Engenharia Ltda, Concorrência 064/2013, Projeto de execução, Vol. 2, Tomo I, Maranhão, 2013.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO MARANHÃO. **Projeto executivo de engenharia para obras de melhoramentos e pavimentação**. Maia Melo Engenharia Ltda, Concorrência 064/2013, Relatório de Projeto e documentação para concorrência, Maranhão, 2013.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO MARANHÃO. **Pontes Rodoviárias do Maranhão**. Ivar Ribeiro Hortegal, Concorrência 064/2013, Rev. 01, Maranhão, 2014.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO MARANHÃO. **Pontes Rodoviárias do Maranhão**. Ivar Ribeiro Hortegal, Concorrência 064/2013, Rev. 02, Maranhão, 2017.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO MARANHÃO. **MA 318 – Ponte Igarapé do Arvoredo**. Maia Melo Engenharia Ltda, Concorrência 064/2013, Parecer Técnico, Maranhão, 2017.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO MARANHÃO. **Pontes Rodoviárias do Maranhão**. Projeto básico, Concorrência 064/2013, Rev. 0, Maranhão, 2011.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO MARANHÃO. **Processo administrativo 64168/2017**. Concorrência 064/2013, Ordem de Serviço, 5º Aditivo, Maranhão, 2013.

ANEXOS

MA-318 – PONTE IGARAPÉ ARVOREDO – PARECER TÉCNICO – maio 2017

Trata-se dos transbordamentos acontecidos no local da ponte sobre o Igarapé Arvoredo na rodovia MA-318 no 1º semestre de 2017. O presente parecer técnico irá aportar esclarecimentos e considerações conforme exposto a seguir:

A - Justificativa da Máxima Enchente observada

B - Cálculo da cota de greide revisada

A - Justificativa da Máxima Enchente (ME) observada

Após revisão e processamento de todas as informações relativas, a principal causa provável da enchente atípica acontecida é que o comportamento hidráulico da malha fluviométrica local seja diferente do estabelecido nas recomendações do Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT, no qual metodologia de cálculo recomenda que a verificação hidráulica das pontes seja feita assumindo comportamento do rio como um canal, fazendo uso da Formula de Manning (vazão em função da declividade do rio e da forma e rugosidade da seção).

Conforme detalhado a seguir, devido a declividade média notoriamente baixa do terreno tudo indica que a enchente do Igarapé Arvoredo observada na ponte da rodovia MA-318 não foi originada pelo transbordamento das águas provenientes da bacia hidrográfica águas arriba da ponte, e sim pelo efeito do remanso do Rio Pindaré, destino final do Igarapé Arvoredo.

Ou seja, em condições de enchente do Rio Pindaré o Igarapé Arvoredo não funciona como um canal e sim como uma bacia de acumulação da vazão excedente do Rio Pindaré, no qual a baixa declividade resulta em baixas velocidades, vazão limitada e o consequente “retorno” das águas pelos cursos dos seus afluentes.

Como consequência dos fatores relacionados, a máxima enchente acontecida não pode ser calculada aplicando diretamente a metodologia recomendada pelo DNIT, a qual limita a verificação de remanso em 2 km ou menos da foz ou da junção com outro rio de maior porte, sendo que a distância ao longo da lâmina de água do Igarapé Arvoredo até a estação Rio Pindaré é de 13,9 km.

Objetivando a revisão, obtenção e justificativa da cota de máxima enchente observada foram consultados os dados da estação fluviométrica existente na sede municipal de Alto Alegre do Pindaré.



Figura 1. Estação fluviométrica em Alto Alegre do Pindaré.

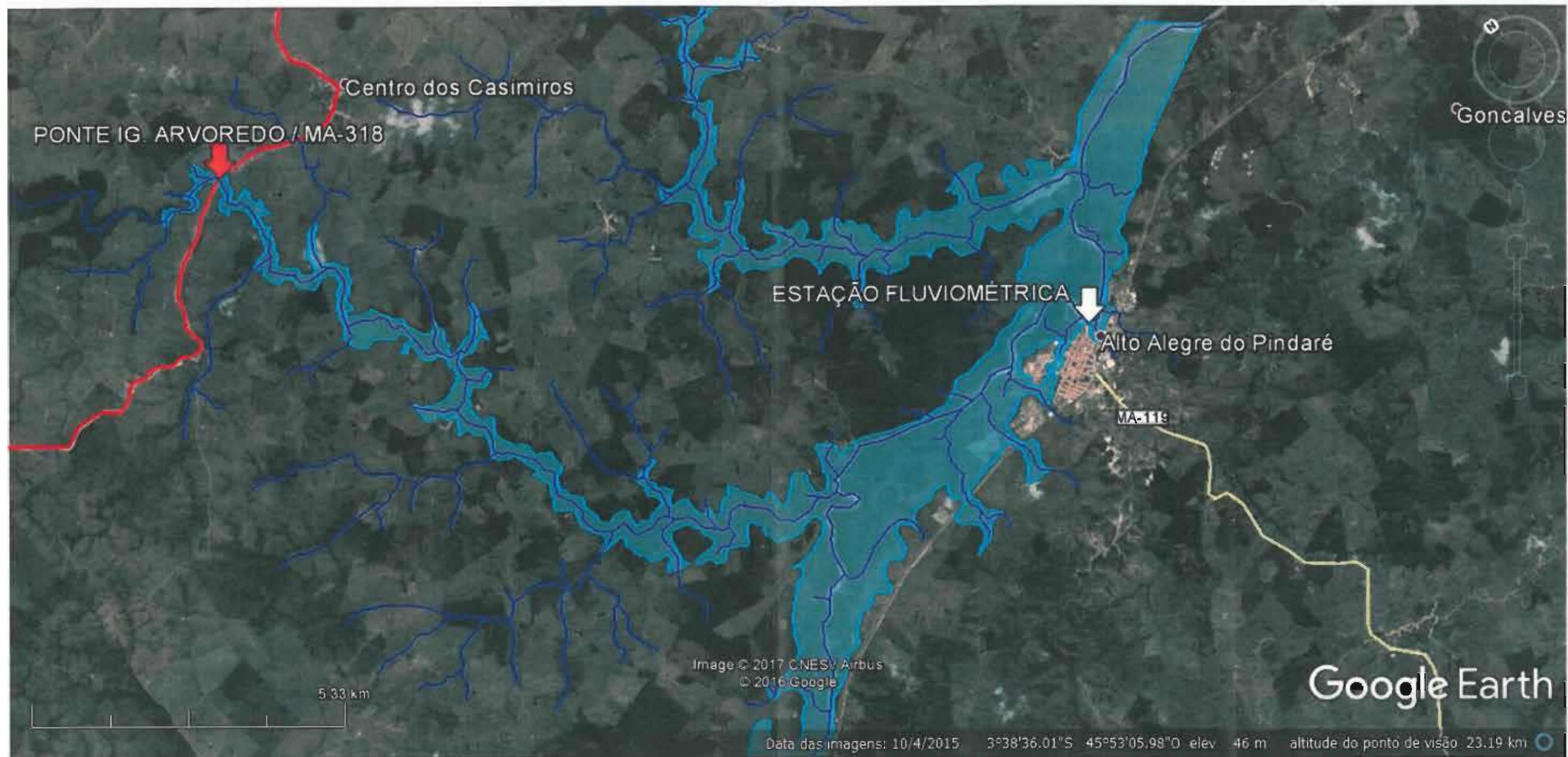


Figura 2. Simulação da enchente do Rio Pindaré.

Dados da Estação Fluviométrica

Código	33080000
Nome	ALTO ALEGRE
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS MEARIM, ITAPECURU E OUTROS (33)
Rio	RIO PINDARÉ
Estado	MARANHÃO
Município	ALTO ALEGRE DO PINDARÉ
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-3:39:53
Longitude	-45:50:30
Área de Drenagem (km ²)	23400

A estação fluviométrica estudada, localizada na beira do rio na sede municipal de Alto Alegre do Pindaré contem registros de nível consistidos no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2016.

Altura máxima da água observada no Rio Pindaré – 758 cm = 7,58 m (maio 2009)

Em base às curvas de nível da carta topográfica "Santa Luzia" (1:100.000) do IBGE, foi calculada a declividade entre o corte da curva de cota 25 m, e a curva de cota 50 m, separadas por uma distância de 80 km ao longo dos cursos de água;

$$(50 - 25) / 80.000 = 0,00031$$

B - Cálculo da cota de greide revisada

Aplicando a distância entre a ponte do Igarapé Arvoredo e a junção com o Rio Pindaré, igual a 13,900 km, na declividade de 0,00031 é obtida a cota relativa teórica do terreno sob a ponte do Igarapé Arvoredo:

$$13.900 \times 0,00031 = 4,309 \text{ m}$$

Restando, portanto, 3,271 m (7,580 – 4,309) que corresponderiam à altura da água do remanso no local da ponte.

Adicionando a cota de fundo no local da ponte (23,770) fornecida pelas batimetrias mais recentes e a altura do remanso:

$$ME = 23,770 + 3,271 = 27,041$$

Que é a cota de máxima enchente teórica revisada, compatível com a enchente observada, na qual a água a água passou aproximadamente "meio metro" acima da ponte em construção, onde a cota do greide é igual a 26,971.

Dada a grande variabilidade e fatores imprevistos optou-se por adotar uma máxima enchente 50 cm acima do greide da ponte em construção:

$$ME = 26,971 + 0,50 = 27,471$$

Em aplicação das recomendações do Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais do DNIT deverá ser considerada uma "folga" ou altura livre de 0,50 m acima da máxima enchente, no caso de bacias de represamento.

Foi considerando o aproveitamento da superestrutura metálica da ponte em construção, na qual a distância mais desfavorável (viga central) entre o infra dorso da estrutura e a cota do pavimento é igual a 1,55 m.

Finalmente, a cota revisada do greide é calculada a partir das alturas supramencionadas, ficando a mesma **2,55 m acima do greide original**:

Cota revisada do greide

$$= ME + 0,5 \text{ (folga)} + 1,55 \text{ (estrutura)} = 27,471 + 0,50 + 1,55 = 29,521$$

Observações complementares

O desvio provisório executado em paralelo deverá ser completamente retirado após a finalização das obras, pois a ponte provisória com vão menor e o aterro auxiliar ficaram obstruindo uma grande parte do vão da ponte projetada.

