

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL

CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC

ENGENHARIA CIVIL

João Victor Castro de Vasconcelos Santos

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Aline da Silva Ramos Barboza

**Avaliação de um projeto estrutural de ponte em concreto armado sobre o Rio
Traipu**

Maceió

2024

João Victor Castro de Vasconcelos Santos

**Avaliação de um projeto estrutural de ponte em concreto armado sobre o Rio
Traipu**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Maceió

2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB-4/ 661

- S237a Santos, João Victor Castro de Vasconcelos.
Avaliação de um projeto estrutural de ponte em concreto armado sobre o Rio Traipu /
João Victor Castro de Vasconcelos Santos. – 2024.
72 f. : il.
- Orientadora: Aline da Silva Ramos Barboza.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil) – Universidade
Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.
- Bibliografia: f. 54-55.
Anexos: f. 56-72.
1. Pontes. 2. Concreto armado. 3. Vigas múltiplas. 4. Avaliação estrutural.
5. Engenharia civil. I. Título.

CDU: 624.21/.8

Avaliação de um projeto estrutural de ponte em concreto armado sobre o Rio Traipu

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

ASSINATURAS:

Documento assinado digitalmente
 JOAO VICTOR CASTRO DE VASCONCELOS SANTI
Data: 03/04/2024 16:07:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

João Victor Castro de Vasconcelos Santos

Autor

Documento assinado digitalmente
 ALINE DA SILVA RAMOS BARBOZA
Data: 26/03/2024 16:34:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Aline da Silva Ramos Barboza

Orientadora

Documento assinado digitalmente
 FLAVIO BARBOZA DE LIMA
Data: 02/04/2024 18:25:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Flávio Barboza de Lima

Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 MARCELO FLAVIO BARBOSA DA SILVA
Data: 26/03/2024 23:29:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng.º Civil: Marcelo Flávio Barbosa da Silva

Examinador Externo

Maceió

2024

AGRADECIMENTOS

A toda a banca avaliadora, composta pelos professores Flávio Barboza e Aline Barboza e pelo engenheiro Marcelo Flávio, por todo o conhecimento passado através das aulas ao longo do curso, além da paciência e dedicação ao longo de todos os meses de elaboração deste trabalho.

A meu avô Jamilson, por ser meu principal guia ao longo de toda a jornada no curso e por toda a colaboração para que eu realizasse este trabalho.

Aos meus pais, por serem meu maior exemplo da vida, por toda a educação e apoio.

A toda minha família, que sempre esteve presente me incentivando, ajudando e me levantando quando fosse preciso.

A minha namorada Aimêe, por ser minha melhor companhia e sempre me apoiando nas horas difíceis.

Aos meus amigos, por todos os momentos de descontração e sempre estarem presentes no meu dia a dia.

RESUMO

SANTOS, J. V. C. V. Avaliação de um projeto estrutural de ponte em concreto armado sobre o Rio Traipu. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação - Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

Pontes são estruturas que tem como objetivo a transposição de um obstáculo para garantir a continuidade de uma via de qualquer natureza. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação de um projeto estrutural de ponte de concreto armado, em vigas múltiplas. A referida ponte foi projetada com o objetivo de realizar a transposição do Rio Traipu, no município de Jaramataia, para compor o trecho da duplicação da AL-220 ligando Arapiraca à Batalha. Esta avaliação será feita seguindo os cumprimentos das normas técnicas brasileiras (NBR) e com base nas recomendações da ABECE 002:2015 e do Guia de Análise de Projetos Rodoviários do DNIT.

Palavras-chave: ponte, concreto armado, vigas múltiplas, avaliação estrutural

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Comentários iniciais.....	9
1.2 Objetivo.....	10
1.2.1 Objetivo Geral.....	10
1.2.2 Objetivos Específicos.....	10
1.3 Metodologia.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3. AVALIAÇÃO INICIAL.....	17
3.1 Características da ponte e parâmetros geométricos.....	17
3.2 Parâmetros Topográficos.....	20
3.3 Parâmetros Hidrológicos.....	20
3.4 Parâmetros Geotécnicos.....	21
3.5 Verificação dos projetos apresentados.....	22
3.6 Classe de agressividade ambiental.....	22
3.7 Parâmetros de projeto que visam a durabilidade.....	23
3.8 Carregamentos adotados.....	25
4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL.....	28
4.1 Superestrutura.....	28
4.2 Mesoestrutura.....	42
4.3 Infraestrutura.....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
6. REFERÊNCIAS.....	54

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Estrutura de uma ponte em concreto armado.....	9
Figura 2- Esquema ilustrativo de uma ponte.....	12
Figura 3- Esquema ilustrativo de um viaduto.....	12
Figura 4- Esquema ilustrativo de sistemas estruturais de pontes.....	13
Figura 5- Localização da ponte sobre o Rio Traipu.....	17
Figura 6- Ponte sobre o Rio Traipu.....	19
Figura 7- Sistema de vigas múltiplas da ponte sobre o Rio Traipu.....	19
Figura 8- Diagrama de interdependência do projeto de pontes rodoviárias.....	21
Figura 9- Disposição das cargas estáticas.....	27
Figura 10- Propriedades geométricas das longarinas.....	28
Figura 11- Esquema estrutural das longarinas.....	29
Figura 12- Diagrama de momento fletor das longarinas.....	29
Figura 13- Diagrama de esforço cortante das longarinas.....	30
Figura 14- Distâncias das vigas ao eixo da obra.....	31
Figura 15- Diagrama do método de Courbon.....	31
Figura 16- Esquema estrutural para a carga móvel.....	33
Figura 17- Diagramas envoltórios de momentos fletores.....	33
Figura 18- Diagramas envoltórios de esforços cortantes.....	34
Figura 19- Dimensionamento da longarina para momento fletor.....	34
Figura 20- Dimensionamento da longarina para esforço cortante.....	35
Figura 21- Dados de entrada no T-Rusch.....	37
Figura 22- Dimensionamento da laje em Mxm.....	38
Figura 23- Dimensionamento da laje em Mxe.....	41
Figura 24- Aparelho de apoio fretado utilizado no projeto.....	43
Figura 25- Esquema estrutural para o pórtico mais alto.....	47
Figura 26- Diagrama de momentos fletores do pórtico mais alto.....	48
Figura 27- Diagrama de esforços cortantes do pórtico mais alto.....	49
Figura 28- Esquema estrutural para o pórtico mais baixo.....	49
Figura 29- Diagrama de esforços cortantes do pórtico mais baixo.....	50
Figura 30- Diagrama de esforços cortantes do pórtico mais baixo.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classe de agressividade ambiental (CAA).....	23
Tabela 2- Correspondência entre a CAA e a qualidade do concreto.....	24
Tabela 3- Correspondência entre a CAA e o cobrimento nominal.....	24
Tabela 4- Valores de Mxm tabela 27.1 de Rüsç.....	37
Tabela 5- Valores de Mym tabela 27.2 de Rüsç.....	39
Tabela 6- Valores de Mxe tabela 27.3 de Rüsç.....	40
Tabela 7- Constante de mola do conjunto de pilares mais altos.....	45
Tabela 8- Constante de mola do conjunto de pilares mais baixos.....	45

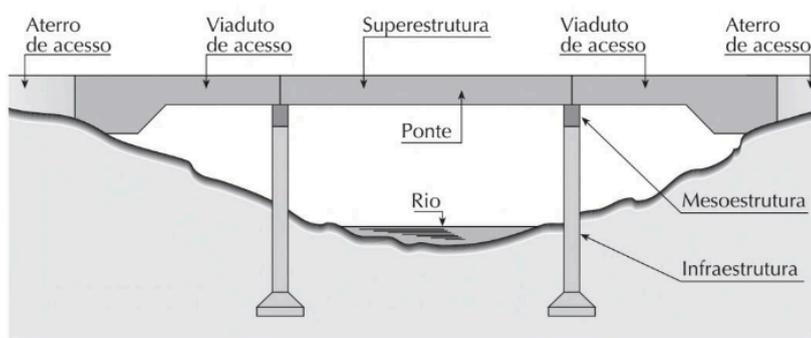
1. INTRODUÇÃO

1.1 Comentários iniciais

Desde a remota antiguidade, quando as populações começaram a se agrupar em comunidades (aldeias, vilas e cidades) e apareceram as primeiras preocupações para travessias de rios, riachos e vales, então surgiram as pontes (e mais tarde os viadutos). Estas têm sido sempre motivo de fascínio e orgulho de seus usuários, projetistas e construtores e prova do desenvolvimento de um povo (PINHO, 2007).

Denomina-se ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculos à continuidade de uma via de comunicação qualquer, conforme ilustrado na Figura 1. Os obstáculos podem ser: rios, braços de mar, vales profundos, outras vias etc. Propriamente, denomina-se ponte quando o obstáculo transposto é um rio e denomina-se viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via. Quando temos um curso d'água de grandes dimensões, a ponte necessita de uma parte externa antes de atravessar o curso d'água. Essa parte em seco é denominada de Viaduto de acesso (MARCHETTI, 2018).

Figura 1- Estrutura de uma ponte em concreto armado



Fonte: Marchetti, 2018.

Segundo a NBR 7187, infraestrutura é conjunto de elementos destinados a receber as cargas provenientes da mesoestrutura ou diretamente da superestrutura e transferi-las para o substrato, mesoestrutura é conjunto de elementos destinados a receber as cargas provenientes da superestrutura e transferi-las para a infraestrutura e superestrutura é conjunto de elementos destinados a receber as cargas permanentes e acidentais e transferi-las para a mesoestrutura ou diretamente para a infraestrutura. A obra de arte pode ser dividida nessas três partes.

De acordo com a recomendação da ABECE 002:2015, avaliação técnica de projeto de estruturas de concreto é o conjunto de serviços realizados antes, durante ou após a execução da estrutura, no sentido de garantir os requisitos de qualidade e conformidade previstos na ABNT NBR 6118.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação de um projeto estrutural de ponte de concreto armado, em vigas múltiplas, seguindo as recomendações da ABECE 002:2015, do Guia de Análise de Projetos Rodoviários do DNIT e os critérios das normas técnicas NBR 6118/2023 e NBR 7187/2021, colocando em prática conhecimentos adquiridos nas aulas ao longo do curso de engenharia civil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo prévio da ponte considerando características geográficas, topográficas, geométricas e critérios de durabilidade;
- Verificar se a estrutura atende aos requisitos relativos à capacidade resistente, segurança e desempenho em serviço.

1.3 Metodologia

Em um primeiro momento, a metodologia será conduzida em uma revisão de literatura sobre pontes, com ênfase em pontes de concreto armado, e avaliação técnica de projetos de estruturas de concreto, além de realizar uma revisão prévia dos projetos disponibilizados da estrutura em estudo. Em seguida, serão realizados os procedimentos baseados no Anexo A.5 da recomendação da ABECE 002:2015 e no Guia de Análise de Projetos Rodoviários do DNIT, atendendo os requisitos das Normas Regulamentadoras da ABNT.

Segundo o anexo, para realizar uma avaliação técnica ocorrendo após a conclusão da estrutura, é necessário estar em posse das informações definidas no Anexo A.1.1, da mesma recomendação, às quais se encontram: documentação do projeto estrutural, desenhos correspondentes às plantas de formas, planta de

locação dos pilares com as cargas na fundação, desenhos correspondentes a todas as plantas de armaduras, parâmetros de projeto empregados, requisitos de durabilidade, cargas adotadas, etc. Ambas essas informações foram concedidas pela empresa JJMF ENGENHARIA ESTRUTURAL LTDA para a realização deste estudo. O modelo estrutural utilizado neste trabalho é o mesmo apresentado no memorial de cálculo concedido, no qual foram utilizados os softwares FTool, LIP, TQS, T-Rüsch e P-Calc, ambos licenciados, para facilitar o processo de cálculo do projeto. Também foram utilizados cálculos manuais, sem uso de softwares, devido à praticidade.

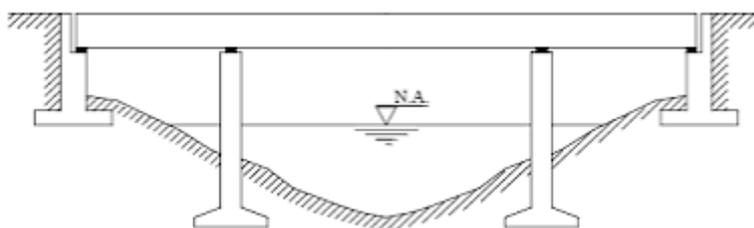
Durante o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma visita técnica ao local da ponte, no município de Jaramataia.

Para compilar todas as informações analisadas durante o trabalho, será preenchido o check-list de elaboração do projeto de pontes e viadutos rodoviários disponível no Guia de Análise de Projetos Rodoviários do DNIT.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

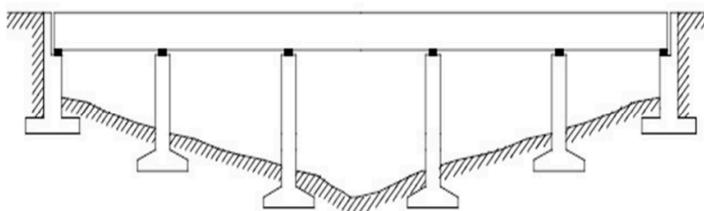
Várias literaturas relatam que as pontes surgiram a partir da necessidade do ser humano de transpor um obstáculo, como rios, vales ou outras vias, para estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza. Além disso, de acordo com a NBR 7187:2021, as pontes são estruturas sujeitas à ação de carga em movimento, chamada de carga móvel. São denominadas pontes quando o obstáculo é constituído de curso de água ou outra superfície líquida, como por exemplo um lago ou braço de mar, e viadutos quando o obstáculo é um vale ou uma via (EL DEBS, 2003), respectivamente representados pelas Figuras 2 e Figura 3.

Figura 2- Esquema ilustrativo de uma ponte



Fonte: El Debs, 2003.

Figura 3- Esquema ilustrativo de um viaduto



Fonte: El Debs, 2003.

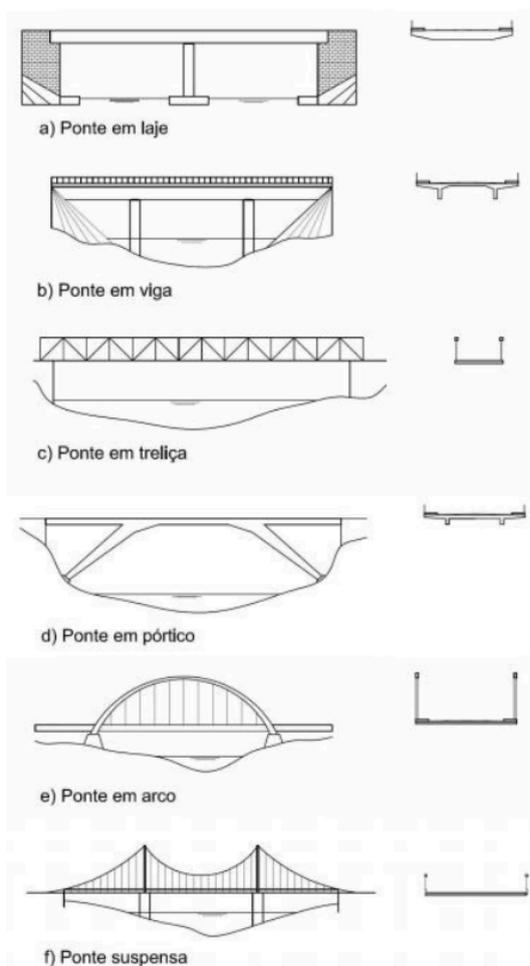
Outra denominação que encontramos é o de passarela, que trata-se de uma ponte ou viaduto destinada exclusivamente à passagem de pedestres e/ou ciclistas.

Conforme Marchetti (2018), as pontes recebem as seguintes classificações:

- Segundo a extensão do vão: bueiros, pontilhões ou pontes;
- Segundo a durabilidade: pontes permanentes, provisórias ou desmontáveis;
- Segundo a natureza do tráfego: pontes rodoviárias, pontes ferroviárias, passarelas, pontes canal, pontes aqueduto, pontes aeroviárias ou pontes mistas;
- Segundo o desenvolvimento planimétrico: pontes retas ou curvas;

- Segundo o desenvolvimento altimétrico: pontes horizontais, pontes em rampa ou pontes curvilíneas;
- Segundo o sistema estrutural: em vigas, em laje, em pórticos, em arco, pênséis ou estaiadas. A Figura 4 ilustra alguns desses sistemas estruturais.

Figura 4- Esquema ilustrativo de sistemas estruturais de pontes



Fonte: Marchetti, 2018.

É preciso que a obra, além de atender às funções para que foi construída, seja suficientemente segura, econômica e estética. Não basta que a obra seja segura, ela deve ser econômica e estética. (STUCCHI, 2006)

As avaliações técnicas de estruturas de concreto são ações realizadas com o objetivo principal de realizar a análise de segurança estrutural. As análises realizadas visam identificar, avaliar e caracterizar o comportamento estrutural, com o fim de fazer uma avaliação precisa sobre as atuais condições de segurança, e de forma auxiliar o desenvolvimento de um programa apropriado de manutenção dessas

construções, para as condições atuais de carregamento e também para condições futuras (ROJAS ERASO, 2011).

Ainda segundo a mesma autora, em geral, nas avaliações da integridade de pontes e viadutos, onde se visa atender os requerimentos mínimos necessários para uma avaliação completa e detalhada, são consideradas as seguintes etapas de análise:

- Análise preliminar: Essa abordagem tem o propósito de permitir a verificação de quais alterações ocorreram desde a última inspeção e quais as condições atuais da estrutura, além de identificar os pontos críticos que possam estar afetando o comportamento estrutural;
- Análise do material construtivo: São realizados ensaios para determinar os parâmetros modais, tais como frequência natural, modos de vibração e taxas de amortecimento;
- Análise numérica: A análise numérica é uma idealização computacional utilizando o método dos elementos finitos para análise linear estática e modal das obras de arte. O objetivo das análises é dar informações para avaliação do comportamento estrutural das pontes;
- Calibração do modelo: A calibração dos modelos numéricos é realizada a partir dos ensaios não destrutivos empregando-se técnicas de re-análise. Com isso, são obtidas ferramentas de análise capazes de simular, de forma mais realista, o comportamento da estrutura considerando suas condições reais;
- Verificação do projeto segundo as normativas vigentes: A partir dos resultados obtidos nas análises e do memorial de cálculo é elaborada a verificação de segurança atendendo as recomendações das normas técnicas em vigor, para projeto de estruturas de pontes.

Nas longarinas, transversinas e lajes fez-se a verificação de fissuras e verificação no estado limite último em flexão simples e cisalhamento, segundo a NBR-6118:2003, e verificação à fadiga de acordo com o CEB-90. No estado limite último é verificado se os momentos solicitantes são menores ou iguais ao momento resistente, $M_{sd} \leq M_r$ na flexão simples.

Segundo a recomendação da ABECE 002:2015, em uma avaliação técnica ocorrendo após a conclusão da estrutura, o autor do projeto precisa informar ao avaliador técnico os critérios considerados na elaboração do projeto, inclusive o tipo

de modelo estrutural adotado. De posse das informações recebidas, o Avaliador Técnico precisa elaborar uma avaliação inicial da estrutura constituída por:

- Avaliação da clareza na representação dos elementos estruturais nos desenhos de formas e armações;
- Avaliação dos parâmetros de durabilidade;
- Avaliação da adequação dos carregamentos adotados no projeto;
- Avaliação do comportamento global da estrutura;
- Avaliação do desempenho em serviço;
- Verificação se todos os principais elementos estruturais fazem parte do conjunto de desenhos entregues do projeto;
- Verificação se informações complementares do projeto estão plenamente definidas (planos de cimbramento, contra flechas, alongamentos, materiais, forças de protensão etc.).

Após esta avaliação inicial, o Avaliador Técnico realizará a análise estrutural conforme item A.1.2, disponível no mesmo documento, a qual precisa contemplar as particulares características da estrutura de concreto e seu comportamento, conforme prescrições da ABNT NBR 6118/2023. É necessário considerar para esta análise os seguintes pontos:

- Elaboração do modelo estrutural, preferencialmente um modelo independente, contendo todos os elementos estruturais representativos;
- Combinações de carregamentos possíveis de ocorrer;
- Redução da inércia dos elementos estruturais devido à fissuração;
- Efeitos construtivos devido à particularidades na execução da estrutura;
- Eventuais plastificações em determinados pontos da estrutura nas análises em ELU;
- Conjunto de carregamentos/rigidez dos elementos para a análise em ELS;
- Conjunto de carregamentos/rigidez dos elementos para a análise em ELU;
- Considerações especiais (processos construtivos, robustez etc.) para importantes elementos estruturais (vigas de transição, pilares de compatibilização, vigas de grandes dimensões nos pavimentos superiores etc.);

- Avaliação do modelo proposto e de sua capacidade de representar o comportamento estrutural e, eventualmente, a interação solo-estrutura e o método construtivo.

3. AVALIAÇÃO INICIAL

3.1 Características da ponte e parâmetros geométricos

A localização da transposição do Rio Traipu é no ponto assinalado de coordenadas $9^{\circ}38'59''\text{S}$ $36^{\circ}56'59''\text{W}$ e altitude de 149 m, conforme representado na Figura 5. A rodovia AL-220 faz parte do sistema rodoviário estadual de Alagoas, ligando os municípios de Arapiraca à Batalha. O trecho no qual o Rio Traipu é transposto se localiza no município de Jaramataia. A ponte rodoviária foi construída em concreto armado, Classe 45, com pista de rolamento, protegida por barreiras tipo New Jersey e vão total de 90,25 m, composto de cinco vãos de 18,2 m. A ponte possui uma esconsidade igual a 0° , ou seja, faz um ângulo reto com o eixo longitudinal do rio.

Figura 5- Localização da ponte sobre o Rio Traipu



Fonte: Google Earth, 2023.

De acordo com as Normas para o Projeto das Estradas de Rodagem (1973, p.3), elaborado pelo Ministério dos Transportes, a rodovia faz parte da Classe I plana, e deve atender aos seguintes critérios referente às obras de arte:

- As obras de arte, nas estradas de características técnicas das Classes Especial e I, deverão ser projetadas para as cargas e com o gabarito mínimo, respeitando, além disso, as demais disposições da Norma Brasileira NB-6, de 1943.

- As obras de arte nas estradas de características técnicas das Classes II e III, devem ser projetadas para as cargas das Classes I e II, respectivamente, da Norma Brasileira NB6, de 1943, e com os gabaritos.
- As pistas das estradas das pontes devem ser projetadas com pavimento de tipo superior com, pelo menos, 12 cm de espessura.
- Nas obras de vão superior a 5 m (pontilhões), a largura da obra de arte deve corresponder à da plataforma da estrada, isto é, pista mais acostamentos.
- Nos trechos de estradas de pistas independentes contíguas, as obras de arte de vão superior a 5 m devem ser projetadas com superestruturas separadas, cada uma correspondendo a uma pista de duas faixas de tráfego.

A superestrutura foi construída por laje em concreto armado moldada in loco de 20 cm de espessura, estando apoiadas nos vigamentos principais. A largura da pista é de 10,50 m que, adicionado com as barreiras tipo New Jersey, perfazem uma largura total de 11,30 m. O tabuleiro recebe revestimento asfáltico com espessura variável permitindo a drenagem das águas pluviais através de tubos de PVC convenientemente posicionados.

A laje mencionada é apoiada sobre sete vigas longarinas, em concreto armado, pré-moldadas, de 1,10 m de altura, seção "I", biapoiadas e de inércia constante em todo o vão, com travamento nos apoios realizados por vigas de travamento em concreto armado e sem travamento nos vãos. As longarinas se apoiam em peças elastoméricas fretadas de 30cm x 30cm e 3,4cm de espessura, mais conhecidas como "Neoprene", as quais permitem deslocamentos e rotações necessários pela análise estrutural com resistência muito baixa durante todo o tempo de vida útil da ponte.

A mesoestrutura é composta pelos aparelhos de apoio "Neoprene" citados anteriormente, viga travessa, viga berço, e pilares. O tabuleiro descarrega os esforços solicitantes nas longarinas que estão apoiadas sobre os aparelhos de apoio e estes apoiados sobre as vigas travessa e berço. A viga travessa central e a viga berço descarregam os esforços para os pilares circulares, de 90 cm de diâmetro, os quais transmitem as cargas geradas para a infraestrutura.

A infraestrutura é constituída por dois tipos de sapatas isoladas apoiadas sobre rocha, o primeiro tipo com dimensões 3,20 m x 3,20 m e 1,20 m de altura, e o segundo tipo com dimensões 3,40 m x 3,40 m e 1,20 m de altura.

Para toda a obra está sendo indicado concreto de tensão característica (f_{ck}) mínima de 35 MPa e armaduras de aço CA-50.

As imagens a seguir ilustram a ponte já em funcionamento, durante uma visita técnica realizada durante a execução deste trabalho.

Figura 6- Ponte sobre o Rio Traipu



Fonte: Autoral, 2024.

Figura 7- Sistema de vigas múltiplas da ponte sobre o Rio Traipu



Fonte: Autoral, 2024.

3.2 Parâmetros Topográficos

Segundo o Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais (1996, p. 101) elaborado pelo DNER atual DNIT, as obras-de-arte especiais serão projetadas com base nos levantamentos que, obrigatoriamente, deverão permitir:

- Traçado do perfil longitudinal do terreno, ao longo do eixo do traçado, com greide cotado, desenhado em escala de 1/100 ou 1/200 e numa extensão tal que seja exequível a definição da obra e dos aterros de acesso.
- Execução de planta topográfica do trecho em que será implantada a obra, com curvas de nível de metro a metro, contendo o eixo do traçado, interferências existentes, tais como limites de divisas, linhas de transmissão, etc., e obstáculos a serem vencidos, com suas respectivas esconsidades, abrangendo área suficiente para a definição da obra e de seus acessos.
- Estudos detalhados da transição obra-de-arte-rodovia, seja ela feita através de encontros ou de dispositivos de transição das pontes com extremos em balanço.
- Conhecimento de todas as condições topográficas de implantação das fundações, evitando-se escavações exageradas que venham a comprometer a estabilidade de encostas.

Não foram apresentadas plantas de locação nem levantamentos topográficos nos documentos concedidos para este trabalho, entretanto, a falta destes relatórios foi justificada nos desenhos apresentados no Anexo A, visto que esses documentos são de responsabilidade de uma empresa terceirizada.

3.3 Parâmetros Hidrológicos

De acordo com o Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais (1996, p. 110) elaborado pelo DNER atual DNIT, os estudos hidrológicos da região, admitido o período de recorrência de cem anos, deverão permitir uma adequada implantação da obra-de-arte especial e o completo conhecimento das condicionantes a eles pertinentes, que influem na escolha do tipo de fundação. Como consequência dos estudos hidrológicos, deverão ficar definidos:

- Níveis máximo e mínimo das águas;

- Seção de vazão do projeto;
- Regime fluvial, com indicação de períodos de enchente e seca e dos meses mais convenientes para execução das fundações;
- Necessidade de proteção das encostas ou das margens, nas proximidades da obra-de-arte especial;
- Direção e velocidades da correnteza;
- Existência e tipo de erosão do fundo e das margens do rio;
- Arraste de material sólido;
- Necessidade de gabarito de navegação;
- Forma conveniente e espaçamento mínimo dos pilares.

Por não fazer parte do escopo deste trabalho, não será aprofundado as características hidrológicas da região. Durante a execução do projeto pela JJMF ENGENHARIA ESTRUTURAL LTDA, os aspectos hidrológicos, no caso efeitos dinâmicos da água, foram levados em consideração.

3.4 Parâmetros Geotécnicos

De acordo com o Guia de Análise de Projetos Rodoviários (2018, p.258), elaborado pelo DNIT, o estudo geotécnico é um pré-requisito para a elaboração de um projeto de ponte rodoviária, conforme ilustrado pela Figura 7.

Figura 8- Diagrama de interdependência do projeto de pontes rodoviárias



Fonte: DNIT, 2018.

Por não se tratar do escopo deste trabalho, além do estudo geotécnico ser realizado por uma empresa terceirizada, este estudo não se aprofundará sobre as características geológicas e geotécnicas. Durante a execução do projeto pela JJMF ENGENHARIA ESTRUTURAL LTDA, esses aspectos foram levados em consideração para dimensionar as fundações, no caso, sapatas isoladas.

3.5 Verificação dos projetos apresentados

De acordo com o anexo A.5.1 da recomendação da ABECE 002:2015, é fundamental que o avaliador técnico verifique se os desenhos dos elementos estruturais estão bem representados e verifique se todos os principais elementos estruturais fazem parte do conjunto de desenhos entregues do projeto.

Todos os desenhos das plantas de projeto disponibilizados podem ser conferidos no Anexo A.

É possível verificar que todos os desenhos estão bem definidos e detalhados, já que em cada prancha os desenhos estão cotados e com observações e especificações no carimbo, sendo essencial para a boa compreensão do projeto. Dentre essas especificações, estão presentes a resistência característica à compressão do concreto, especificação de f_{ck} para as etapas construtivas, relação de água/cimento, cobrimento das armaduras e descrição do tipo de aço adotado, ambas informações exigidas pelo Guia de Análise de Projetos Rodoviários do DNIT.

Além disso, foi apresentado todos os elementos estruturais deste projeto, os quais incluem: superestrutura(vigas longarinas, vigas transversinas, barreiras New Jersey, laje), mesoestrutura(viga travessa, placas de neoprene, pilares), infraestrutura(sapatas) e muro de acesso, ambos com cortes, detalhes estruturais e armação necessária.

3.6 Classe de agressividade ambiental

Segundo a NBR 6118/2023, a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. Ainda de acordo com a mesma norma, nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1- Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT, 2023.

Segundo a memória de cálculo concedida pela JJMF ENGENHARIA ESTRUTURAL LTDA, a classe de agressividade ambiental adotada foi II Moderada, seguindo assim a recomendação da norma.

3.7 Parâmetros de projeto que visam a durabilidade

De acordo com o anexo A.5.1 da recomendação da ABECE 002:2015, a avaliação dos parâmetros de durabilidade é um dos tópicos essenciais para elaborar uma avaliação inicial da estrutura. Segundo a NBR 6118/2023, a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura. Ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade prevista em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento e a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se que sejam adotados os requisitos mínimos expressos na Tabela 2.

Tabela 2- Correspondência entre a CAA e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT, 2023.

Ainda referente à NBR 6118/2023, para atender aos requisitos estabelecidos, o cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado, e estes cobrimentos estão sempre referidos à superfície da armadura externa, em geral à face externa do estribo. A Tabela 3 estabelece os cobrimentos mínimos a serem adotados no projeto.

Tabela 3- Correspondência entre a CAA e o cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT, 2023.

Segundo a memória de cálculo concedida pela JJMF ENGENHARIA ESTRUTURAL LTDA, os seguintes critérios foram adotados:

- Relação água/cimento: menor ou igual a 0,60
- Massa específica do concreto fresco: no intervalo entre 2350 kgf/m³ e 2450 kgf/m³
- Recobrimento da laje superior: 2,5 cm
- Recobrimento da laje inferior: 2,5 cm
- Recobrimento da barreira new jersey: 2,5 cm
- Recobrimento dos pilares e sapatas: 4,0 cm
- Recobrimento das vigas: 3,0 cm
- Recobrimento das lajes de aproximação: 4,0 cm

Ambos os critérios estão de acordo com as recomendações da NBR 6118/2023.

3.8 Carregamentos adotados

De acordo com o anexo A.5.1 da recomendação da ABCECE 002:2015, a avaliação da adequação dos carregamentos adotados no projeto é um dos tópicos fundamentais para elaborar uma avaliação inicial da estrutura.

Em conformidade com a NBR 7187/2021 e a NBR 8681, ações são as causas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas. Classificam-se, segundo a referida norma, em:

- Permanentes;
- Variáveis;
- Excepcionais.

3.8.1 Carga Permanente

Segundo a NBR 6118/2023, ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. Também são consideradas permanentes as ações que aumentam no tempo, tendendo a um valor-limite constante. As ações permanentes devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis para a segurança.

De acordo com a NBR 7187/2003, na avaliação das cargas devidas ao peso próprio dos elementos estruturais, o peso específico deve ser tomado no mínimo

igual a 24 kN/m^3 ($2,4 \text{ tf/m}^3$) para o concreto simples, 25 kN/m^3 ($2,5 \text{ tf/m}^3$) para o concreto armado ou protendido e 24 kN/m^3 ($2,4 \text{ tf/m}^3$) para a pavimentação.

Nas especificações de projeto, presentes tanto no memorial de cálculo como nas plantas do projeto, é apresentado o peso específico adotado de $2,5 \text{ tf/m}^3$ para o concreto armado e $2,4 \text{ tf/m}^3$ para o pavimento, seguindo assim a norma referida.

Para esse projeto foram consideradas como ações permanentes:

- Peso próprio da laje = espessura da laje $\times \gamma_c = 0,2 \times 2,5 = 0,5 \text{ tf/m}$;
- Peso próprio do pavimento = espessura do pavimento $\times \gamma_p$ + recapeamento = $0,09 \times 2,4 + 0,2 = 0,44 \text{ tf/m}$;
- Peso próprio da viga = área da seção transversal $\times \gamma_c = 0,26 \times 0,25 = 0,65 \text{ tf/m}$.

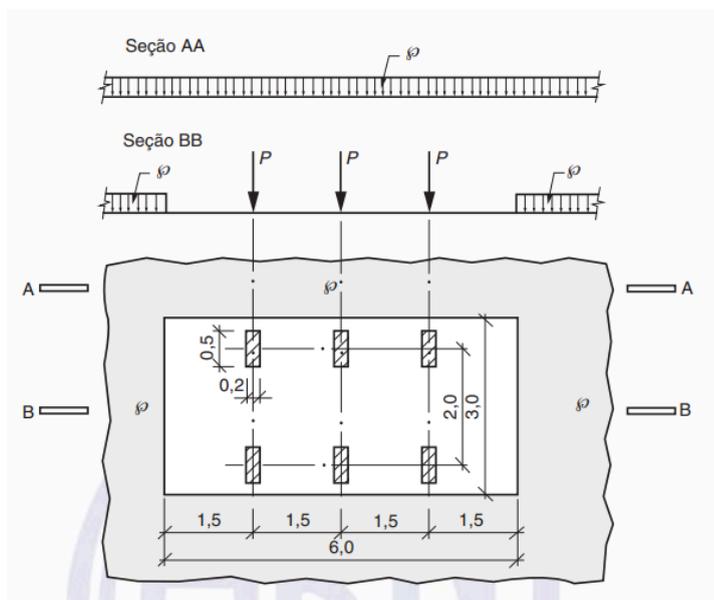
Totalizando assim uma carga permanente total de $1,57 \text{ tf/m}$.

3.8.2 Carga Variável

Segundo a NBR 6118/2023, as ações variáveis diretas são constituídas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, pela ação do vento e da água, devendo-se respeitar as prescrições feitas por Normas Brasileiras específicas. Por se tratar de uma ponte, a NBR 7187/2021 compreende a adoção da carga móvel.

3.8.2.1 Carga Móvel

A carga móvel adotada foi a carga móvel padrão TB-450 (Classe 45), que, conforme a NBR 7188/2013, é definida por um veículo tipo de 450 kN , com seis rodas, $P = 75 \text{ kN}$, três eixos de carga afastados entre si em $1,5 \text{ m}$, com área de ocupação de $18,0 \text{ m}^2$, circundada por uma carga uniformemente distribuída constante $p = 5 \text{ kN/m}^2$, ilustrada pela Figura 8.

Figura 9- Disposição das cargas estáticas

Fonte: ABNT, 2013.

Não foi considerada força centrífuga nesta carga móvel visto que a ponte não possui curvatura.

3.8.2.2 Demais Ações Variáveis

Além da carga móvel, para esse projeto foram consideradas como ações variáveis:

- Carga do vento;
- Cargas oriundas da água;
- Variações de temperatura.

3.8.3 Carga Excepcional

De acordo com a NBR 7187/2021, ações excepcionais são aquelas cuja ocorrência se dá em circunstâncias anormais. Compreendem os choques de objetos móveis, as explosões, os fenômenos naturais pouco frequentes, como ventos ou enchentes catastróficos e sismos, entre outros.

Para esse estudo não foram consideradas ações excepcionais, visto que as barreiras New Jersey servem como dispositivos protetores de parte da estrutura contra choques mecânicos, e, não há tráfego hidroviário nesta região do Rio Traipu. Acidentes naturais também não foram considerados devido ao histórico da região.

4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

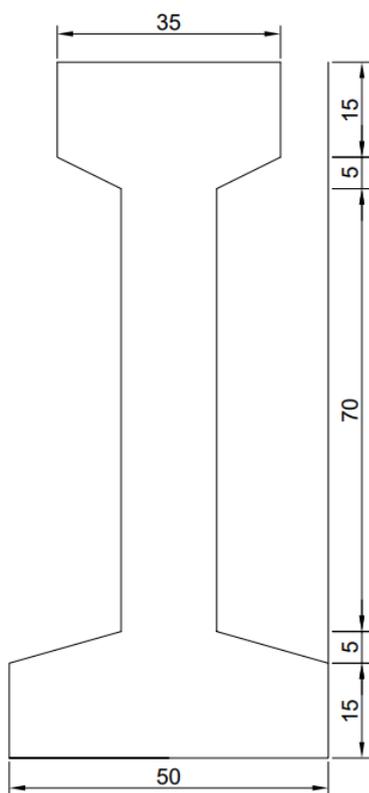
Segundo a recomendação da ABECE 002:2015, após a avaliação inicial da estrutura, é necessário realizar a avaliação estrutural e verificação em ELS e ELU, com o intuito de verificar se a estrutura atende aos requisitos relativos à capacidade resistente, segurança, desempenho em serviço e durabilidade.

4.1 Superestrutura

A superestrutura é composta pelo tabuleiro (lajes), vigas longitudinais principais (longarinas) e vigas secundárias (transversinas). Os carregamentos adotados estão descritos e analisados no capítulo 3.8.

A viga longarina possui as seguintes dimensões:

Figura 10- Propriedades geométricas das longarinas



$$\text{ÁREA} = 0,2613 \text{ m}^2 = 2613 \text{ m}^2$$

Fonte: Autoral, 2024.

4.1.1 Cálculo das longarinas

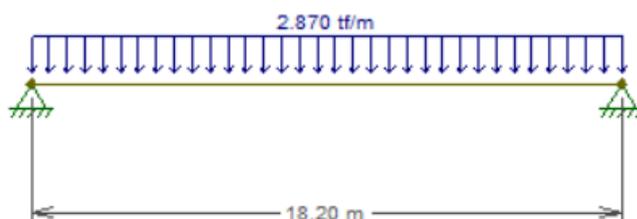
A carga total na longarina pela área de influência é calculada da seguinte forma:

$$q_{ai} = \text{Área de influência} \cdot \text{Carga Permanente} = 1,825 \cdot 1,57 = 2,87 \text{ tf/m}$$

A área de influência, neste caso, é igual à distância entre as vigas longarinas.

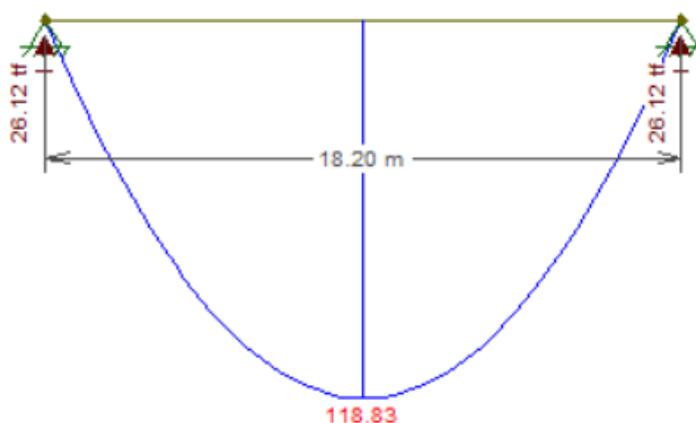
A partir desta carga, é possível montar, a partir do software FTool, o esquema estrutural para obter as reações de apoio e diagramas de momento fletor e esforço cortante, ilustrados pelas Figuras 12 e 13.

Figura 11- Esquema estrutural das longarinas

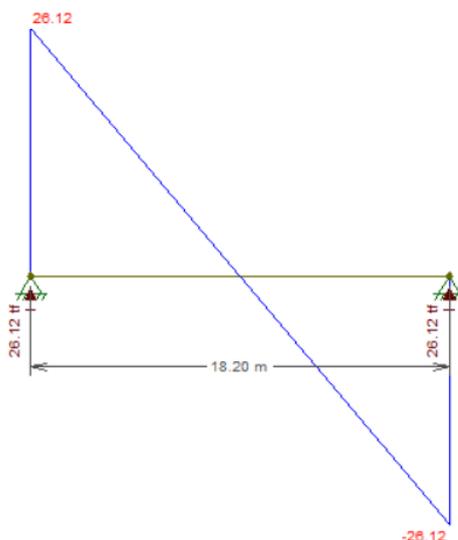


Fonte: FTool, 2024.

Figura 12- Diagrama de momento fletor das longarinas



Fonte: FTool, 2024.

Figura 13- Diagrama de esforço cortante das longarinas

Fonte: FTool, 2024.

4.1.2 Carga móvel

Assim como citado no capítulo 3.8, a carga móvel adotada foi a padrão TB-450, seguindo a NBR 7188/2013. A montagem do trem-tipo foi feita da seguinte forma:

$$TT = 45 \text{ tf}$$

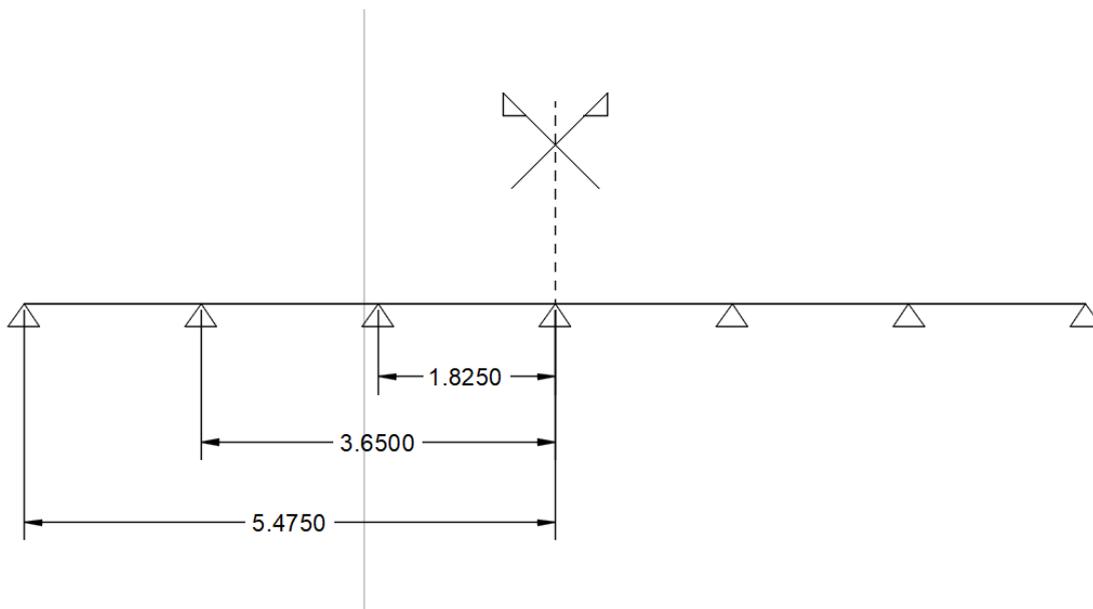
$$Cdp = 0,5 \text{ tf/m}^2 \quad A1 = 18\text{m}^2$$

$$CCp = \frac{TT}{6} = 7,5 \text{ tf}$$

$$\text{Carga concentrada simplificada} = CCp - \frac{Cdp \cdot A1}{6} = 6 \text{ tf}$$

Conforme Valeriano (2021), para situações mais usuais de superestrutura em seção aberta, sem curvatura ou esconsidade significantes, observa-se que o método de Courbon ainda se mostra interessante na prática do projeto, pela sua simplicidade e tendência de conduzir a resultados a favor da segurança, sem comprometer a economia. Sendo assim, será utilizado o método de Courbon para determinar a carga móvel deste projeto.

Inicialmente, é necessário calcular as distâncias de cada viga longarina do eixo central da obra. A Figura 14 ilustra um esquema estrutural com estas distâncias.

Figura 14- Distâncias das vigas ao eixo da obra

Fonte: Autoral, 2024.

O somatório das distâncias individuais de cada viga ao eixo da obra elevado ao quadrado é obtido através da seguinte fórmula:

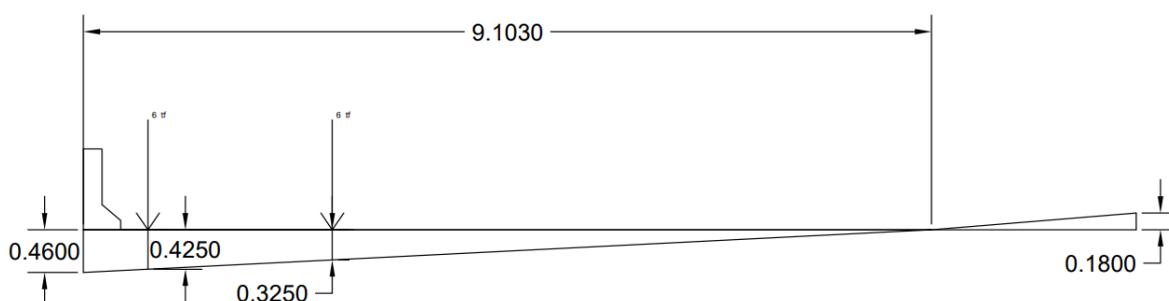
$$\Sigma x = 2 \cdot (d1^2 + d2^2 + d3^2) = 2 \cdot (1,825^2 + 3,65^2 + 5,475^2) = 93,26 \text{ m}^2$$

Pelo fato de ser uma estrutura simétrica, as distâncias elevadas ao quadrado foram dobradas.

Segundo o método de Courbon, é necessário calcular as reações máximas e mínimas para definir o diagrama proposto pelo próprio método.

$$R_{max} = \frac{1}{qv} + \frac{D_{max^2}}{S_{xi}} = \frac{1}{7} + \frac{5,475^2}{93,26} = 0,46$$

$$R_{min} = \frac{1}{qv} - \frac{D_{max^2}}{S_{xi}} = \frac{1}{7} - \frac{5,475^2}{93,26} = -0,18$$

Figura 15- Diagrama do método de Courbon

Fonte: Autoral, 2024.

A partir do diagrama é possível definir:

- Coeficiente de reação carga 1: $C1=0,425$;
- Coeficiente de reação carga 2: $C2=0,325$;
- Distância para carga de multidão da laje ao zero do gráfico: $C_{dist}=9,103$ m.

O coeficiente de impacto vertical foi calculado como cita a NBR 7188/2013 em estruturas com vãos entre 10 e 20 metros.

$$CIV = 1 + 1,06 \cdot \left(\frac{20}{L_{iv}+50}\right) = 1,31$$

O coeficiente de número de faixas também foi calculado conforme a mesma norma.

$$CNF = 1 - 0,05 \cdot (n - 2) > 0,9$$

$$CNF = 1 - 0,05 \cdot (2 - 2) = 1$$

Como $CNF > 0,9$, esse coeficiente está de acordo com a NBR 7188/2013.

O coeficiente de impacto adicional não será necessário adotar, pois é aplicável somente para o dimensionamento de elementos de juntas estruturais.

A carga concentrada de 6 tf é encontrada considerando toda a área do trem-tipo (6 m x 3 m) totalmente carregada com $0,5$ tf/m², o que resulta em $6 \times 3 \times 0,5 = 9$ tf/m². Dividindo esta carga por 6, resulta em $1,5$ tf/m². Subtraindo de cada carga concentrada do trem-tipo, $7,5$ tf, tem-se 6 tf.

As cargas concentradas e distribuída são obtidas através das seguintes equações:

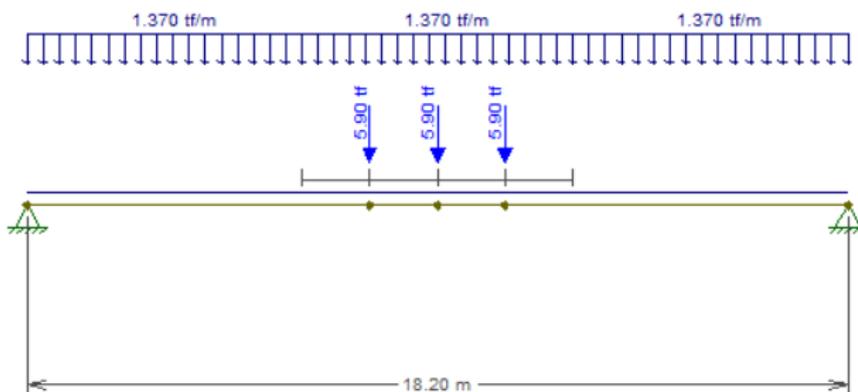
$$\text{Carga concentrada: } P = CIV \cdot CNF \cdot \text{Carga concentrada simplificada} \cdot (C1 + C2)$$

$$P = 1,31 \cdot 6 \cdot (0,425 + 0,325) = 5,9 \text{ tf}$$

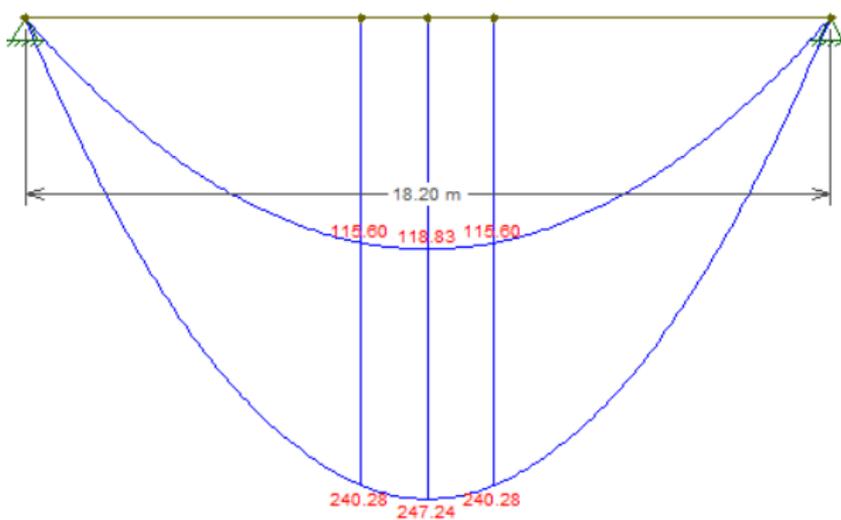
$$\text{Carga distribuída: } q = CIV \cdot CNF \cdot C_{dp} \cdot \left(R_{max} \cdot \frac{C_{dist}}{2}\right)$$

$$q = 1,31 \cdot 0,5 \cdot \left(0,460 \cdot \frac{9,103}{2}\right) = 1,37 \text{ tf/m}$$

Com esses valores, a partir do software FTool, foi montado o esquema estrutural para a carga móvel e os diagramas envoltórios de momento fletor e esforço cortantes das vigas longarinas, conforme as Figuras 17 e 18.

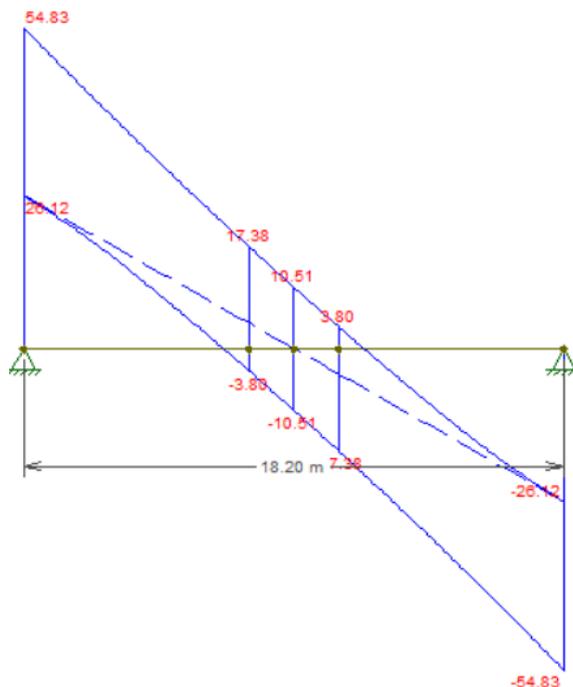
Figura 16- Esquema estrutural para a carga móvel

Fonte: FTool, 2024.

Figura 17- Diagramas envoltórios de momentos fletores

Fonte: FTool, 2024.

Figura 18- Diagramas envoltórios de esforços cortantes



Fonte: FTool, 2024.

A partir dos diagramas de momento fletor e esforço cortante, é possível identificar seus valores máximos, assim, é obtido:

- $M_{f,máx} = 247,24 \text{ tf.m}$;
- $V_{k} = 54,81 \text{ tf}$.

4.1.3 Dimensionamento das armaduras positivas nas longarinas

A partir dos diagramas gerados e utilizando a calculadora do software TQS, é possível determinar as armaduras positivas para momento fletor e esforço cortante das vigas longarinas. Foi encontrado os seguintes valores:

Figura 19- Dimensionamento da longarina para momento fletor

Seção Largura: 15 cm Altura ÚTIL: 117 cm Largura mesa colaborante: 182.5 cm Altura mesa colaborante: 20 cm Largura colaborante inferior: 0 cm Altura colaborante inferior: 0 cm Largura média seção trapezoidal: 0 cm		Armadura Quantidade: <input type="text"/> Bitola: <input type="text"/> mm Espaçamento: <input type="text"/> cm Área de armadura: 70.42 cm ² Tipo de aço: CA50A		Outros critérios K40 - As mínima: 2 - NBR-6118 KL21 - Altura da seção p/As mínima: 0 - Altura total da seção K72 - Seção p/As mínima: 0 - Seção retangular Resistência à tração Fctk,sup: 33.345 kgf/cm ² Posição limite da linha neutra x/d: 1 Distância da armadura do estribo à face: 0 cm Cobrimento: 2.5 cm Bitola dos estribos, só vigas: 0 mm	
Momento fletor na seção Valor característico: 247.24 tfm		Concreto Fck: 350 kgf/cm ²			
Resultado do cálculo Tipo de seção: T Altura da linha neutra: 9.87 cm Momento Mk: 247.24 tfm		As - Armadura principal: 70.42 cm ² As' - Armadura dupla: 0.00 cm ²		Valor do momento fletor, em tfm, para cálculo da área de armadura necessária na seção: <input type="text"/> Momento ==>> As <input type="text"/> As ==>> Momento <input type="button" value="Fechar"/>	

Fonte: TQS, 2024.

- $A_s = 70,42 \text{ cm}^2$
- $A_{s,\min} = 0,0015 \times \text{Área da seção transversal} = 0,0015 \times 2613 = 3,92 \text{ cm}^2$

Foi adotado $15\Phi 25\text{mm}$, as quais possuem $A_{s\Phi} = 73,63 \text{ cm}^2$. Como $A_{s\Phi} > A_s$, a segurança segue favorável.

No projeto disponibilizado, foi adotado $12\Phi 25\text{mm}$, o qual pode ter sido justificado por não considerar cargas, como a de recapeamento, por exemplo, ou até mesmo erros de aproximação dos softwares utilizados.

Da mesma forma foi feita para os esforços cortantes, onde obteve-se:

Figura 20- Dimensionamento da longarina para esforço cortante

Calculadora de armaduras em elementos sujeitos à força cortante e à torção, segundo a NBR6118:2003

Título da seção: Observação: Abrir Salvar

Modelo de cálculo

Modelo I
 Modelo II
 θ : 45,00 °

Geometria

bw: 15,00 cm
 bw,min: 15,00 cm
 h: 130 cm
 d: 117 cm
 s (ue): 100,00 cm
 α : 90,00 °

Materiais

fck: 35,00 MPa
 fywk: 500,00 MPa
 γ_c : 1,40
 γ_s : 1,15

Força cortante

Vsd: 76,73 tf

Tipo de elemento

Linear (viga, pilar) Laje

Ac: 0,00 cm² As1: 0,00 cm²
 k: 0 Nsd: 0,00 tf

Tipo de esforço

Flexão simples ou flexo-tração com LN fora da seção
 Flexão simples ou flexo-tração com LN cortando a seção
 Flexo-compressão

Mo: 0,00 tf.m Msd,máx: 0,00 tf.m

Torção

Tsd: 0,00 tf.m C1: 4,43 cm Garantir capacidade de adaptação plástica

Resultados

Força cortante

Asw,nec: 15,67 cm²
 Asw,min: 1,93 cm²
 Asw,real: 15,67 cm²

Vrd1: 0,00 tf
 Vrd2: 101,88 tf
 Vrd3: 76,73 tf
 Vc: 5,00 tf 6,52 %
 Vsw: 71,73 tf 93,48 %

Torção

	(A90)	(As)
As,nec:	0,79 cm ²	0,79 cm ²
As,min:	0,79 cm ²	0,79 cm ²
As,real:	0,00 cm ²	0,00 cm ²
Trd2:	4,91 tf.m	
Trd3:	0,00 tf.m	
Trd4:	0,00 tf.m	
he:	6,14 cm	
b/h - nuc:	6,14 cm	121,14 cm

Torção e força cortante

$\frac{Vsd}{Vrd2} + \frac{Tsd}{Trd2} = 0,75$

As armaduras foram calculadas sem problemas.

Calcular
 Gerar relatório
 Fechar

Fonte: TQS, 2024.

- $A_{sw} = 15,67 \text{ cm}^2$
- $A_{sw,\min} = 1,93 \text{ cm}^2$

Foi adotado $\phi 8 \text{ c}/6,5$, assim como descrito no desenho de armação.

4.1.4 Verificação da deformação e contra-flecha

A verificação da deformação é essencial para combater as possíveis patologias que podem ocorrer, sendo necessário o uso de armaduras negativas para combater este problema. A deformação é possível ser determinada da seguinte forma:

$$\Delta = \frac{5q \cdot \frac{V\tilde{a}o^4}{8} + P \cdot V\tilde{a}o^3 + P(V\tilde{a}o - 3m) \cdot (3V\tilde{a}o^2 - (V\tilde{a}o - 3m) \cdot (V\tilde{a}o - 3m))}{48 E_p \cdot I_x}$$

Onde:

- $q = 1.34 \text{ m tf/m}^2$
- $P = 5,9 \text{ tf}$
- $E_p = 33130,05 \text{ MPa}$
- $V\tilde{a}o = 18,15 \text{ m}$
- $I_x = 11192960 \text{ cm}^4$

$$\Delta = 0,97 \text{ cm}$$

$$\Delta_{lim} = \frac{V\tilde{a}o}{600} = 3,03 \text{ cm}$$

Como $\Delta < \Delta_{lim}$ a deformação está dentro da sua capacidade limite, não necessitando de contra-flecha.

4.1.5 Dimensionamento da laje

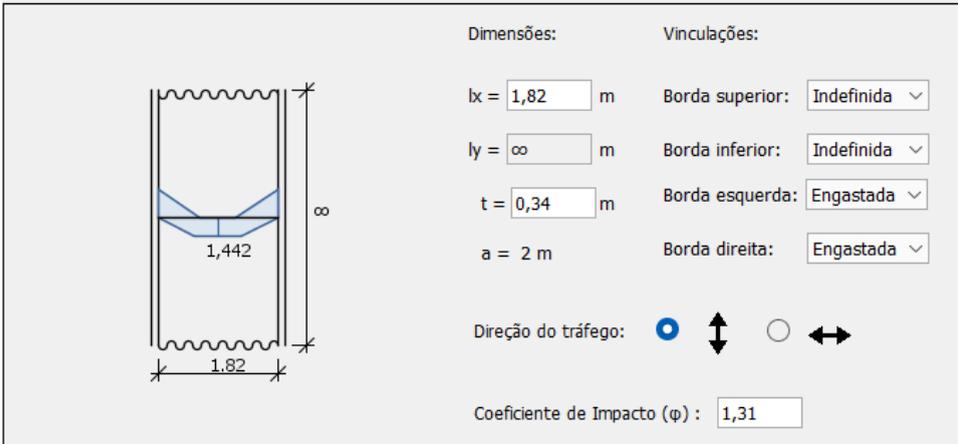
O dimensionamento e avaliação da laje da ponte sobre o Rio Traipu será utilizando o programa T-Rüsch, que é um programa de análise de esforços em lajes de pontes que se utiliza das Tabelas de Rüsch.

Inicialmente, foi introduzido os seguintes dados de entrada no software, baseado nas dimensões definidas no projeto:

- Distância entre rodas: $a = 200 \text{ cm}$;
- Espessura do pavimento: $espp = 9 \text{ cm}$;
- Espessura da laje: $esp = 20 \text{ cm}$;
- Largura da roda: $roda = 30 \text{ cm}$;
- Distância entre longarinas: $L_x = 182,5 \text{ cm}$;
- Comprimento da longarina: $L_y = 18,15 \text{ m}$;
- Espraçamento da roda no pavimento: $t = roda + 2 \cdot espp + esp = 68 \text{ cm}$;
- Carga permanente total na laje: $C_{ptot} = 0,72 \text{ tf/m}^2$.

A Figura 21 ilustra a tela inicial do software com os dados de entrada já inclusos.

Figura 21- Dados de entrada no T-Rusch



Dimensões:

$l_x = 1,82$ m

$l_y = \infty$ m

$t = 0,34$ m

$a = 2$ m

Vinculações:

Borda superior: Indefinida

Borda inferior: Indefinida

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego:

Coefficiente de Impacto (ϕ): 1,31

Fonte: T-Rüsch, 2024.

A partir dos dados de entrada, o programa T-Rüsch relaciona as tabelas existentes do programa e define qual delas deverá ser utilizada. A tabela selecionada indica os valores de esforços devido às cargas permanentes e cargas móveis na laje do tabuleiro. No caso deste projeto, a tabela selecionada foi a 27.1. A Tabela 4 mostra os valores de momentos M_{xm} selecionados que deverão ser interpolados para se chegar aos valores de M_{xm} devido às cargas móveis.

Tabela 4- Valores de M_{xm} tabela 27.1 de Rüsch

l_x/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
	L	L	L	L		
0,50	0,118	0,083	0,041	0,02	0,0	0,0
1,0	0,171	0,129	0,078	0,061	0,0	0,0
1,5	0,266	0,216	0,175	0,12	0,0	0,05
2,0	0,332	0,29	0,25	0,195	0,0	0,1
2,5	0,399	0,357	0,318	0,264	0,0	0,27
3,0	0,452	0,415	0,37	0,33	0,3	0,53
4,0	0,56	0,52	0,485	0,44	0,8	1,11
5,0	0,65	0,62	0,58	0,53	1,25	1,79
6,0	0,74	0,71	0,67	0,63	1,65	2,9
7,0	0,82	0,79	0,75	0,7	2,0	4,5
8,0	0,87	0,85	0,81	0,76	2,4	6,3
9,0	0,91	0,89	0,85	0,8	2,75	8,4
10,0	0,94	0,91	0,87	0,82	3,12	10,55

Fonte: T-Rüsch, 2024.

Ao interpolar os dados, tem-se o seguinte resultado:

- $M_L = 0,147$

- $M_p=0,0$
- $M_{p'}=0,0$
- $M_{xm} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$
- $M_{xm}=1,31 \times (7,5 \times 0,147 + 0,5 \times 0,0 + 0,5 \times 0,0)$
- $M_{xm}=1,442 \text{ tf.m/m}$

Para os esforços devido às cargas permanentes, tem-se:

- $k=0,042$
- $M_{xm}=k \times g \times l_x^2$
- $M_{xm}=0,042 \times 0,720 \times 3,31$
- $M_{xm}=0,099 \text{ tf.m/m}$

Para as armaduras para o momento M_{xm} , tem-se:

- $b_{wxm} = 100\text{cm}$
- $h_{xm} = 20\text{cm}$
- $d_{xm} = 14,5 \text{ cm}$
- $M_{xm} = 1,442+0,099=1,541 \text{ tf} \times \text{m}$

Utilizando a calculadora do software TQS, é possível determinar a armadura principal, conforme a Figura 22.

Figura 22- Dimensionamento da laje em M_{xm}

Seção		Armadura		Outros critérios	
Largura	100 cm	Quantidade		K40 - As mínima	2 - NBR-6118
Altura ÚTIL	14.5 cm	Bitola		KL21 - Altura da seção p/As mínima	0 - Altura total da seção
Largura mesa colaborante	0 cm	Espaçamento		K72 - Seção p/As mínima	0 - Seção retangular
Altura mesa colaborante	0 cm	Área de armadura	2.678 cm ²	Resistência à tração Fctk,sup	33.345 kgf/cm ²
Largura colaborante inferior	0 cm	Tipo de aço	CA50A	Posição limite da linha neutra x/d	1
Altura colaborante inferior	0 cm			Distância da armadura do estribo à face	0 cm
Largura média seção trapezoidal	0 cm			Cobrimento	2.5 cm
				Bitola dos estribos, só vigas	0 mm
Momento fletor na seção		Concreto			
Valor característico	1.183 tfm	Fck	350 kgf/cm ²		
Resultado do cálculo					
Tipo de seção	Retangular	As - Armadura principal	2.68 cm ²	Momento ==> As	
Altura da linha neutra	0.68 cm	As' - Armadura dupla	0.00 cm ²	As ==> Momento	
Momento Mk	1.18 tfm			Fechar	

Fonte: TQS, 2024.

- $As_{xm}=2,68 \text{ cm}^2$
- $As_{,min}=0,0015 \times 100 \times 20=3,07 \text{ cm}^2$

Como $As_{,min} > As_{xm}$, é necessário utilizar a armadura mínima.

Adotando ϕ 10:

$$Esp = \frac{1m}{4 \frac{AsxLajePos}{\pi \phi Asx2}} = 26 \text{ cm}$$

Sendo necessário assim utilizar ϕ 10 c/12,5, em favor da segurança. O desenho de armadura e o memorial de cálculo adotam a mesma armadura.

De maneira análoga, é feito o mesmo processo para determinar os valores de momentos M_{ym} .

Tabela 5- Valores de M_{ym} tabela 27.2 de Rüsçh

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
	L	L	L	L		
0,50	0,097	0,051	0,031	0,008	0,0	0,01
1,0	0,149	0,091	0,051	0,023	0,0	0,01
1,5	0,187	0,134	0,08	0,038	0,0	0,03
2,0	0,215	0,168	0,096	0,064	0,0	0,05
2,5	0,248	0,198	0,137	0,096	0,0	0,13
3,0	0,287	0,239	0,179	0,141	0,05	0,24
4,0	0,361	0,315	0,262	0,222	0,13	0,57
5,0	0,43	0,389	0,338	0,295	0,21	0,83
6,0	0,498	0,457	0,412	0,37	0,28	1,33
7,0	0,56	0,52	0,479	0,433	0,33	2,03
8,0	0,61	0,58	0,54	0,49	0,42	2,89
9,0	0,66	0,63	0,59	0,54	0,48	3,82
10,0	0,71	0,67	0,63	0,58	0,56	4,85

Fonte: T-Rüsçh, 2024.

Ao interpolar os dados, tem-se o seguinte resultado:

- $M_L=0,120$
- $M_p=0,0$
- $M_{p'}=0,010$
- $M_{ym} = \phi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$
- $M_{ym}=1,31 \times (7,5 \times 0,120 + 0,5 \times 0,0 + 0,5 \times 0,010)$
- $M_{ym}=1,181 \text{ tf.m/m}$

Para os esforços devido às cargas permanentes, tem-se:

- $k=0,007$
- $M_{ym}=k \times g \times l_x^2$
- $M_{ym}=0,007 \times 0,720 \times 3,31$

- $M_{ym}=0,016 \text{ tf.m/m}$

Para as armaduras para o momento M_{ym} , tem-se:

- $b_{wxm} = 100\text{cm}$
- $h_m = 20\text{cm}$
- $d_m = 14,5 \text{ cm}$
- $A_{sxm}=2,68 \text{ cm}^2$
- $A_{s,\min}=0,0015*100*20=3,07 \text{ cm}^2$

Assim como nos momentos em x, é necessário adotar a armadura mínima.

Adotando $\phi 8$:

$$Esp = \frac{1m}{4 \frac{AsxLajePos}{\pi \phi Asx^2}} = 16 \text{ cm}$$

Sendo necessário assim utilizar $\phi 8 \text{ c/14}$, em favor da segurança. O desenho de armadura e o memorial de cálculo adotam a mesma armadura.

A Tabela 6 mostra os valores de momentos M_{xe} selecionados que deverão ser interpolados para se chegar aos valores de M_{xe} devido às cargas móveis.

Tabela 6- Valores de M_{xe} tabela 27.3 de Rüsç

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,1
1,0	0,32	0,26	0,18	0,09	0,0	0,28
1,5	0,42	0,4	0,34	0,25	0,0	0,35
2,0	0,58	0,56	0,51	0,4	0,03	0,35
2,5	0,72	0,7	0,66	0,55	0,08	0,37
3,0	0,85	0,84	0,8	0,78	0,2	0,8
4,0	1,06	1,06	1,01	0,98	0,55	2,2
5,0	1,21	1,21	1,18	1,14	1,0	4,25
6,0	1,32	1,32	1,3	1,26	1,4	7,6
7,0	1,41	1,41	1,4	1,36	2,0	11,8
8,0	1,47	1,47	1,47	1,44	2,4	16,2
9,0	1,52	1,52	1,52	1,5	3,0	21,6
10,0	1,54	1,54	1,54	1,53	3,5	26,3

Fonte: T-Rüsç, 2024.

Ao interpolar os dados, tem-se o seguinte resultado:

- $M_L=0,220$
- $M_p=0,0$

- $M_p=0,248$
- $M_{xe} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$
- $M_{xe}=1,31 \times (7,5 \times 0,220 + 0,5 \times 0,0 + 0,5 \times 0,248)$
- $M_{xe}=-2,391 \text{ tf.m/m}$

Para os esforços devido às cargas permanentes, tem-se:

- $k=-0,083$
- $M_{xe}=k \times g \times l_x^2$
- $M_{xe}=-0,083 \times 0,720 \times 3,33$
- $M_{xe}=-0,277 \text{ tf.m/m}$

Para as armaduras para o momento M_{xe} , tem-se:

- $b_{wm} = 100\text{cm}$
- $h_m = 20\text{cm}$
- $d_m = 17 \text{ cm}$
- $M_{xe} = 2,391+0,277=2,67 \text{ tf} \times \text{m}$

Utilizando a calculadora do software TQS, é possível determinar a armadura principal, conforme a Figura 23.

Figura 23- Dimensionamento da laje em M_{xe}

Seção Largura <input type="text" value="100"/> cm Altura ÚTIL <input type="text" value="17"/> cm Largura mesa colaborante <input type="text" value="0"/> cm Altura mesa colaborante <input type="text" value="0"/> cm Largura colaborante inferior <input type="text" value="0"/> cm Altura colaborante inferior <input type="text" value="0"/> cm Largura média seção trapezoidal <input type="text" value="0"/> cm		Armadura Quantidade <input type="text" value=""/> Bitola <input type="text" value=""/> mm Espaçamento <input type="text" value=""/> cm Área de armadura <input type="text" value="5,221"/> cm ² Tipo de aço <input type="text" value="CA50A"/>		Doutros critérios K40 - As mínima <input type="text" value="2 - NBR-6118"/> KL21 - Altura da seção p/As mínima <input type="text" value="0 - Altura total da seção"/> K72 - Seção p/As mínima <input type="text" value="0 - Seção retangular"/> Resistência à tração $F_{ctk,sup}$ <input type="text" value="33.345"/> kgf/cm ² Posição limite da linha neutra x/d <input type="text" value="1"/> Distância da armadura do estribo à face <input type="text" value="0"/> cm Cobrimento <input type="text" value="2,5"/> cm Bitola dos estribos, só vigas <input type="text" value="0"/> mm	
Momento fletor na seção Valor característico <input type="text" value="2,67"/> tfm		Concreto Fck <input type="text" value="350"/> kgf/cm ²			
Resultado do cálculo Tipo de seção <input type="text" value="Retangular"/> Altura da linha neutra <input type="text" value="1,34"/> cm Momento M_k <input type="text" value="2,67"/> tfm		As - Armadura principal <input type="text" value="5,22"/> cm ² As' - Armadura dupla <input type="text" value="0,00"/> cm ²		<input type="button" value="Momento ==> As"/> <input type="button" value="As ==> Momento"/> <input type="button" value="Fechar"/>	

Fonte: TQS, 2024.

- $As_{xe}=5,22 \text{ cm}^2$
- $As_{,min}=0,0015 \times 100 \times 20=3,07 \text{ cm}^2$

Adotando $\phi 12.5$:

$$Esp = \frac{1m}{4 \frac{AsxLajePos}{\pi \phi Asx2}} = 24 \text{ cm}$$

Sendo necessário assim utilizar ϕ 12.5 c/15, em favor da segurança. O desenho de armadura e o memorial de cálculo adotam a mesma armadura.

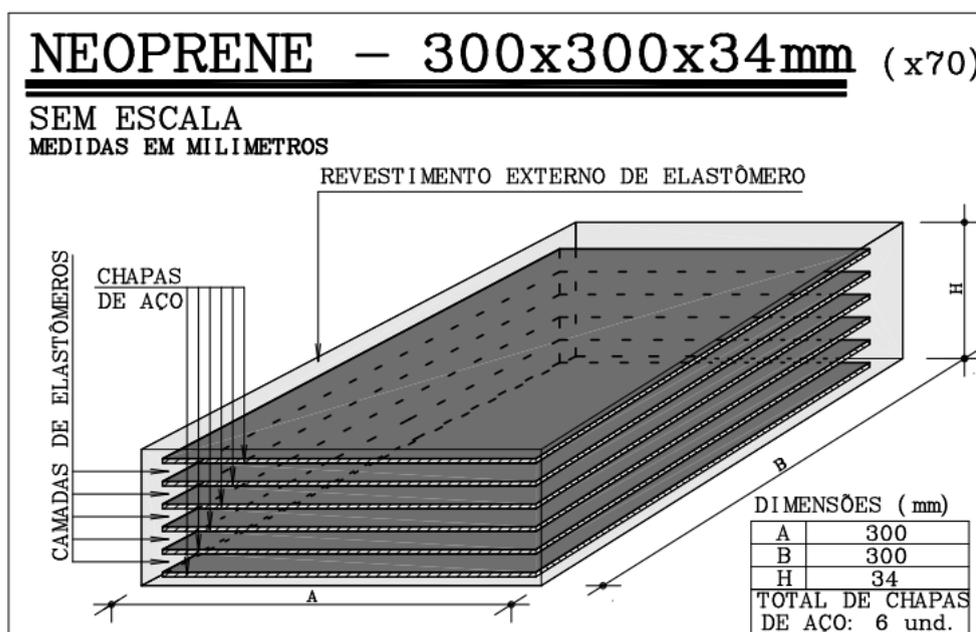
4.2 Mesoestrutura

A mesoestrutura é composta pelos aparelhos de apoio, viga travessa, viga berço, e pilares. O tabuleiro descarrega os esforços solicitantes nas longarinas que estão apoiadas sobre os aparelhos de apoio e estes apoiados sobre as vigas travessa e berço. A viga travessa central e a viga berço descarregam os esforços para os pilares. Os pilares por sua vez descarregam os esforços para a infraestrutura.

4.2.1 Aparelhos de apoio

As transmissões dos esforços entre peças estruturais devem-se às ligações entre elas, aproximando a solução concebida pelo projetista à estrutura real. Desta forma, as referidas peças possuem fundamental importância no comportamento global da estrutura. Neste projeto, foi utilizado o aparelho de elastômero fretado conhecido como Neoprene, sendo constituído por placas de aço e camadas de borracha sintética. A adoção deste material se deve ao fato de seus valores serem encontrados em tabelas. Pelo fato de não haver normas brasileiras para esse tipo de aparelho de apoio, foram adotadas as recomendações da norma alemã DIN 4141-14. A própria NBR 7187/2021 recomenda utilizar regulamentos internacionais no caso de não haver normas brasileiras que versem sobre a matéria. A Figura 23 ilustra o aparelho de apoio utilizado no projeto.

Figura 24- Aparelho de apoio fretado utilizado no projeto



Fonte: JJMF ENGENHARIA ESTRUTURAL LTDA, 2021.

Este material possui as seguintes características:

- Dimensão longitudinal: $n_1=30$ cm;
- Dimensão transversal: $n_2= 30$ cm;
- Área para 2 neoprenes: $S_2=n_1 \times n_2=0,09$ m²;
- Espessura de borracha, sem as chapas: $d_n=2,5$ cm;
- Módulo de Elasticidade transversal do neoprene: $G_n=100$ tf/m²;
- Constante de mola do neoprene: $k_n=360$ tf/m.

4.2.2 Frenagem

De acordo com a NBR 7187/2021, nas pontes rodoviárias, a força longitudinal devida à frenagem ou à aceleração dos veículos deve ser considerada aplicada na superfície de rolamento e igual ao maior dos seguintes valores: 5% do peso do carregamento do tabuleiro com as cargas móveis distribuídas, excluídos os passeios, ou 30% do peso do veículo tipo.

$$H_f = 0,25 \cdot B \cdot L_p \cdot CNF = 5,36 \text{ tf}$$

$$Fr_1 = 0,3 \cdot TT = 13,5 \text{ tf}$$

Foi adotada assim a carga oriunda de 30% do peso do veículo tipo, onde tem-se um esforço por linha de pilares de 6,75 tf.

4.2.3 Geometria dos pilares

4.2.3.1 Pilares circulares de maior altura

Os pilares de maior altura possuem as seguintes propriedades:

- Diâmetro do pilar: $d_1=90$ cm;
- Área da seção transversal do pilar: $S_1=6362$ cm²
- Comprimento do pilar: $L_1=900$ cm;
- Peso próprio do pilar: $P_p=14,31$ tf;
- Momento de inércia: $J_p=0,034$ m⁴;
- Raio de giração do pilar: $i_p=0,23$ m;
- Módulo de elasticidade: $E= 33130,05$ MPa;
- Módulo de elasticidade secante: $E_o=28160,54$ MPa;
- Constante de mola do pilar: $k_p=443,49$ tf/m.

4.2.3.2 Pilares circulares de menor altura

Os pilares de menor altura possuem as seguintes propriedades:

- Diâmetro do pilar: $d_2=90$ cm;
- Área da seção transversal do pilar: $S_2= 6361,73$ cm²
- Comprimento do pilar: $L_2=600$ cm;
- Peso próprio do pilar: $P_{p2}=9,54$ tf;
- Momento de inércia: $J_p=0,034$ m⁴;
- Raio de giração do pilar: $i_p=0,23$ m;
- Módulo de elasticidade: $E= 33130,05$ MPa;
- Módulo de elasticidade secante: $E_o=28160,54$ MPa;
- Constante de mola do pilar: $k_{p2}=1496,77$ tf/m.

4.2.4 Constante de mola do conjunto de pilares mais altos

As constantes de mola podem ser obtidas através da seguinte tabela:

Tabela 7- Constante de mola do conjunto de pilares mais altos

km1	360	tf/m
km2	198,7	tf/m
km3	360	tf/m
km4	198,7	tf/m
Σk	1117,4	tf/m
u1	0,32	
u2	0,18	
u3	0,32	
u4	0,18	

Fonte: Autoral, 2024.

4.2.5 Constante de mola do conjunto de pilares mais baixos

As constantes de mola podem ser obtidas através da seguinte tabela:

Tabela 8- Constante de mola do conjunto de pilares mais baixos

km1	360	tf/m
km2	290,2	tf/m
km3	360	tf/m
km4	290,2	tf/m
Σk	1300,4	tf/m
u1	0,28	
u2	0,22	
u3	0,28	
u4	0,22	

Fonte: Autoral, 2024.

4.2.6 Distribuição dos esforços devido à temperatura e retração

- Coeficiente de dilatação do concreto: $\alpha = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$;
- Variação da temperatura: $\Delta T = 25 ^\circ\text{C}$;
- Número de vãos: $qvao=5$;
- Comprimento do vão: $cvao=18,15 \text{ m}$.

$$\Delta 2 = \alpha \cdot \Delta T \cdot cvao = 0,45 \text{ cm}$$

A partir desta distribuição de esforços, é possível determinar a força no topo dos pilares devido a temperatura:

$$F2 = km1 \cdot \Delta2 = 1,63 \text{ tf}$$

4.2.7 Solicitações longitudinais totais nos pilares

A partir das forças encontradas, é possível encontrar as solicitações longitudinais tanto nos pilares mais altos, como nos pilares mais baixos. O maior esforço horizontal foi adotado em favor da segurança. Nos pilares mais altos tem-se:

$$SL = Fr \cdot \mu1 + F2 = 3,81 \text{ tf}$$

$$ML = SL \cdot L1 = 34,27 \text{ tf m}$$

De maneira análoga, nos pilares mais baixos tem-se:

$$SLa = Fr \cdot \mu1a + F2 = 3,5 \text{ tf}$$

$$MLa = SLa \cdot L1 = 31,52 \text{ tf m}$$

4.2.8 Esforços devido ao vento

Assim como citado no capítulo 3.8, os esforços do vento foram considerados como parte da carga variável. Os esforços transversais devido ao vento foram calculados seguindo a NBR 6123/1988.

- Carga de vento: $q1 = 0,1 \text{ tf/m}^2$;
- Altura do vigamento: $ht = 130 \text{ cm}$;
- Altura de influência do vento sobre a ponte: $hv=200 \text{ cm}$;

$$Vento = q1 \cdot (ht + hv) \cdot Cvao = 6 \text{ tf}$$

4.2.9 Esforços devido à água

Assim como citado no capítulo 3.8, os esforços devido à água foram considerados como parte da carga variável. Os esforços transversais devido à água foram calculados seguindo a NBR 6118/2023 e a NBR 7187/2021.

- Velocidade de escoamento: $v = 3 \text{ m/s}$;
- Aceleração da gravidade: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$;
- Coeficiente conforme a seção do pilar: $ka = 0,8$;
- Altura exposta à água: $ha = 7,5 \text{ m}$;

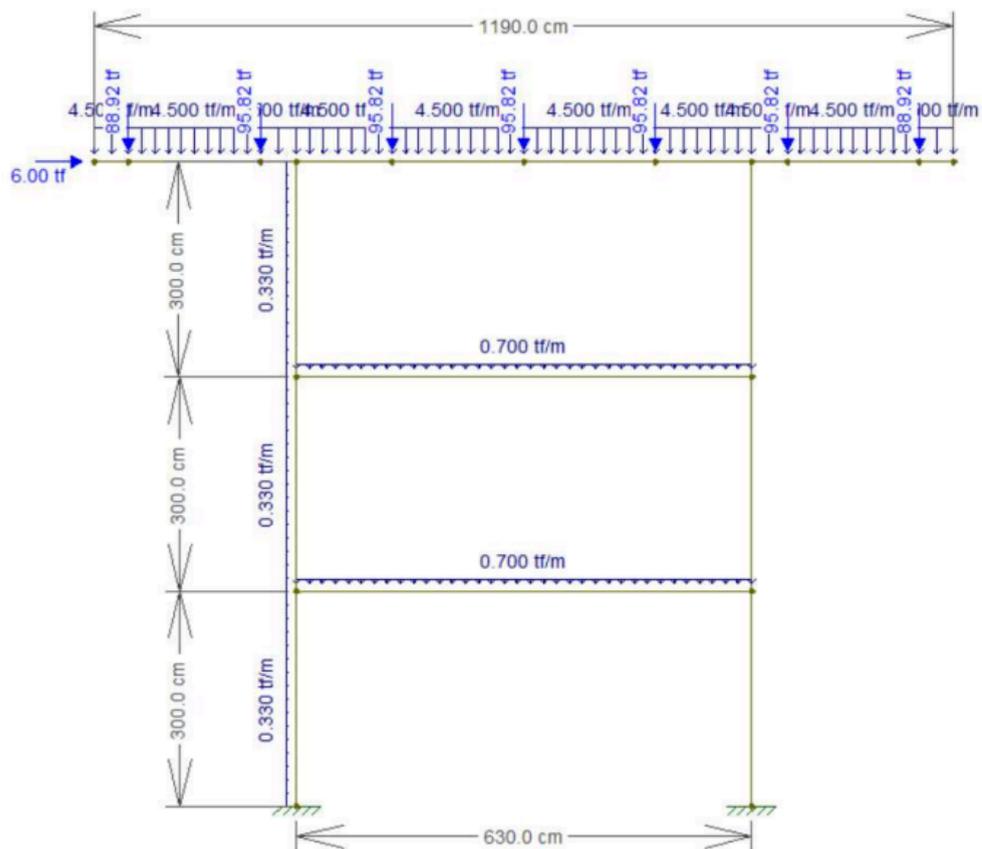
$$\acute{A}gua = \frac{ka \cdot ha \cdot d1 \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot ha} = 0,33 \text{ tf}$$

4.2.10 Esquema estrutural para os pórticos

Considerando todos esses esforços atuantes na mesoestrutura, foi utilizado o software FTool para montar o esquema estrutural do pórtico mais alto e mais baixo.

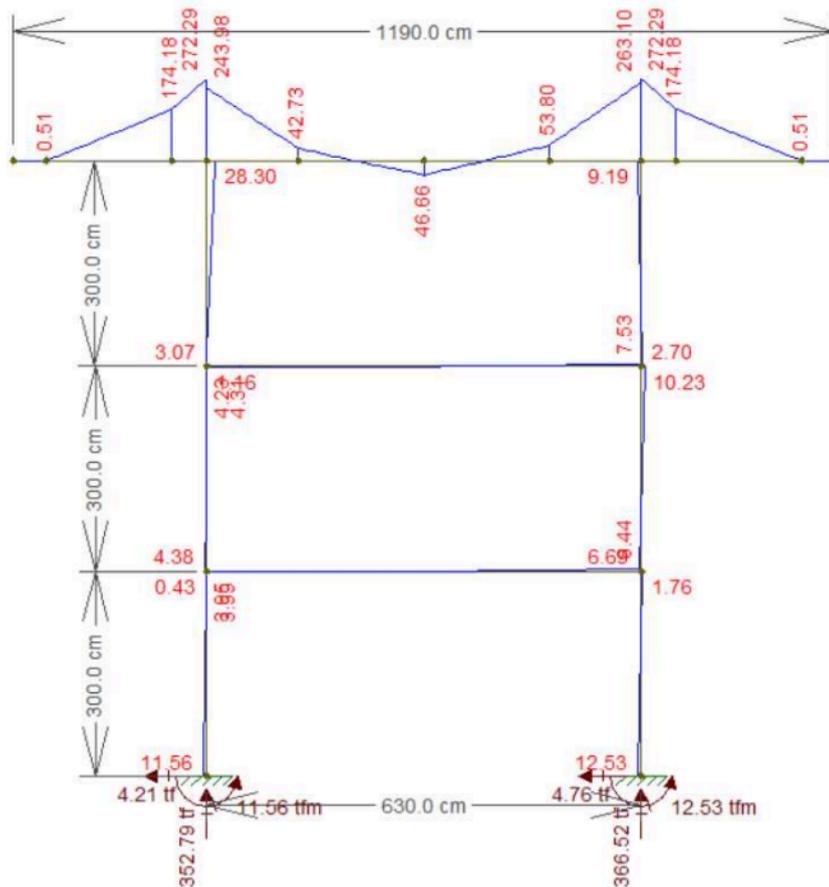
O mesmo software gera os diagramas de momento fletor e esforços cortantes do esquema estrutural inserido.

Figura 25- Esquema estrutural para o pórtico mais alto



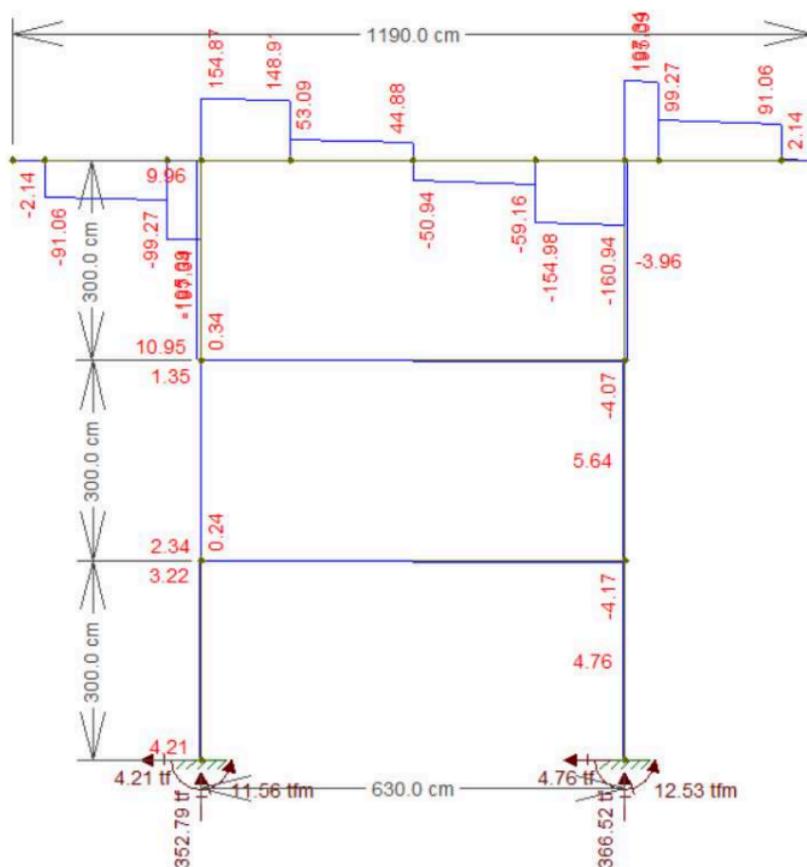
Fonte: FTool, 2024.

Figura 26- Diagrama de momentos fletores do pórtico mais alto



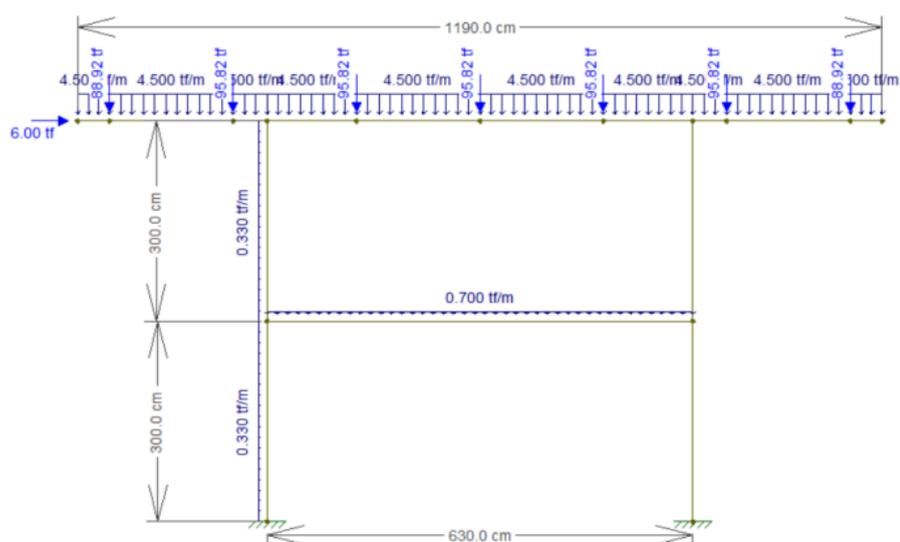
Fonte: FTool, 2024.

Figura 27- Diagrama de esforços cortantes do pórtico mais alto



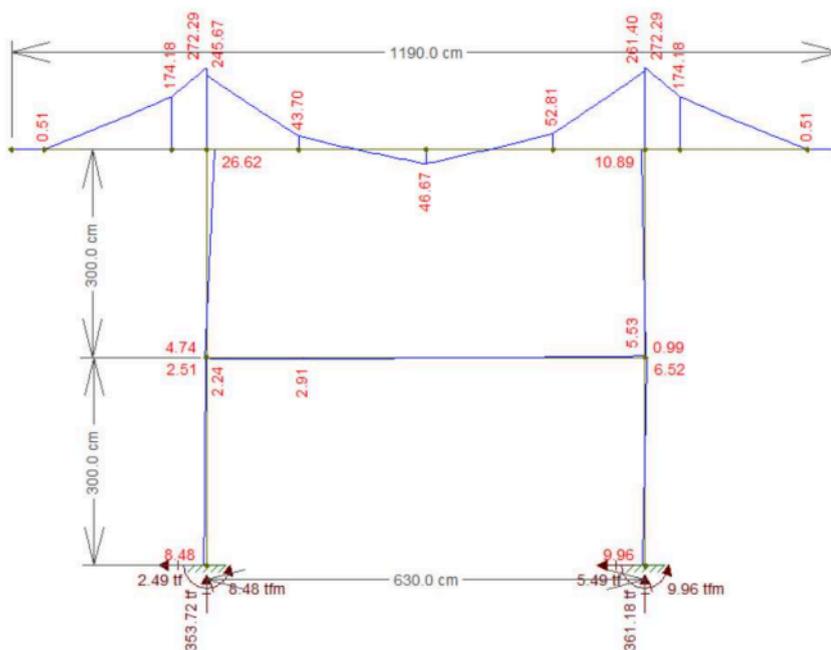
Fonte: FTool, 2024.

Figura 28- Esquema estrutural para o pórtico mais baixo



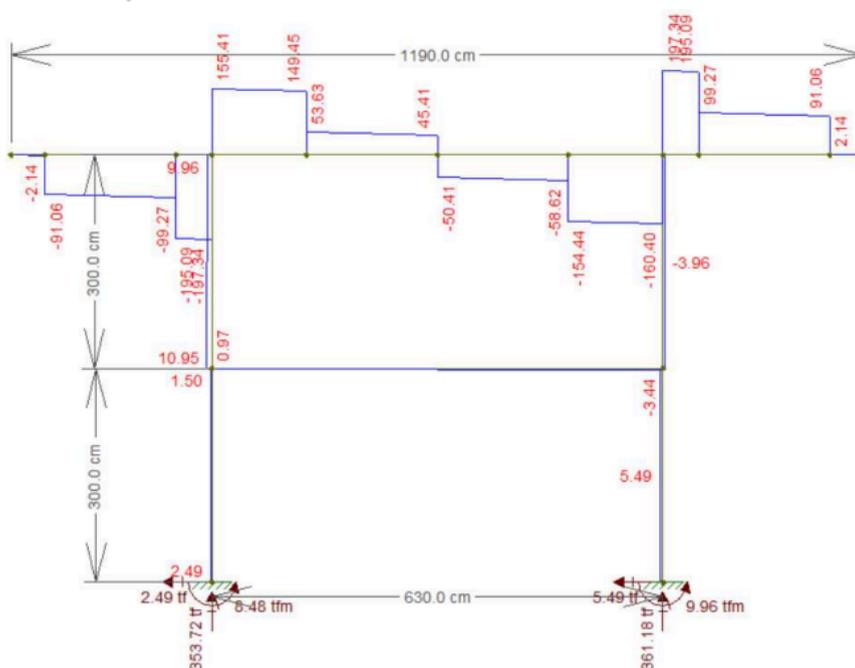
Fonte: FTool, 2024.

Figura 29- Diagrama de esforços cortantes do pórtico mais baixo



Fonte: FTool, 2024.

Figura 30- Diagrama de esforços cortantes do pórtico mais baixo



Fonte: FTool, 2024.

4.2.11 Vigas de contraventamento

As vigas de contraventamento foram projetadas para seguir as seguintes dimensões:

- Altura da viga: $h_{VCT}=80$ cm;

- Largura da viga: LVCT=30 cm;
- Peso Próprio da Viga: ppVCT=0,6 tf/m;
- Comprimento da viga: cVCT= 610 cm;
- Sobrecarga na viga: scVCT=0.1tf/m;
- Altura útil: dVCT=75 cm.

O mesmo método utilizado no dimensionamento das vigas longarinas foi utilizado para as vigas de contraventamento, a partir da calculadora do TQS, obtendo-se então, para momento máximo:

- MkVCT= 8.44 tf m (Maior Valor)
- AsVCT= 2,81 cm²
- As,min=0,0015*30*80=3,68 cm²

Sendo necessário assim utilizar a armadura mínima (AsVCT<As,min).

Ao adotar $\Phi 16$ mm, tem-se:

$$qVCT = \frac{As}{\Phi As} = \frac{3,68}{2} = 1,84$$

Sendo necessário adotar 2 $\Phi 16$ mm. O memorial de cálculo e os desenhos das armaduras adotam 3 $\Phi 16$ mm, contribuindo ainda mais em favor da segurança.

Para o cortante máximo, tem-se:

- VkvCT= 4.17 tf;
- AseVCT= 3.85 cm²;
- EspEstVCT= 16 cm.

Adotando assim $\Phi 6,3$ mm a c/ 12,5.

4.2.12 Dimensionamento e análise dos pilares

Para a análise e dimensionamento dos pilares foi utilizado o programa computacional P-Calc, considerando os efeitos da não linearidade física e geométrica. Para efeito de cálculo, foi considerado o pilar mais carregado para o dimensionamento de cada grupo de pilares. Os valores das reações do pórtico são encontrados na Figura 24 e Figura 27, para os pilares de maior altura e menor altura, respectivamente. As dimensões e armaduras dos pilares adotadas no software são as mesmas encontradas nos desenhos do projeto. Os relatórios gerados pelo software P-Calc encontram-se no Anexo C e D, para os pilares de maior altura e menor altura, respectivamente.

É possível avaliar, a partir dos relatórios gerados, que ambos os grupos dos pilares atendem às condições impostas, visto que apresentam um fator de segurança maior que 1 na combinação mais desfavorável, a qual é imposta pelo próprio software, que, para ambos os grupos, é pelo método pilar-padrão com curvatura aproximada.

4.3 Infraestrutura

A infraestrutura é formada pelas sapatas quadradas, as quais transmitem os esforços dos pilares para o solo. Devido ao fato do relatório de sondagem não ser fornecido pela mesma empresa que concedeu a memória de cálculo e projetos, não é possível estabelecer um modelo estrutural da infraestrutura.

A avaliação será baseada nos resultados obtidos através da memória de cálculo, ou seja, a armadura adotada para a fundação.

O memorial atende os critérios da NBR 6122/2010, assim como citado nas notas dos desenhos.

O memorial adota, para o primeiro tipo de sapatas, com dimensões 3,20 m x 3,20 m, 21 Φ 16 c/15 nas direções x e y, e, para o segundo tipo de sapatas, com dimensões 3,40 m x 3,40 m, 21 Φ 16 c/13 nas direções x e y.

Esta mesma ferragem está de acordo com o que foi apresentado nos desenhos de armação do projeto, encontrado no Anexo A.

Também foi apresentado o uso de chumbadores nas fundações, os quais são fixados na rocha com adesivo estrutural à base de epóxi.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho de realizar uma avaliação de um projeto estrutural de ponte de concreto armado foi realizado com sucesso, visto que toda a estrutura atende aos requisitos relativos à capacidade resistente, segurança e desempenho em serviço.

A utilização de softwares para o cálculo e verificação da estrutura facilita bastante a execução do trabalho, automatizando todos os processos de maneira rápida e assertiva.

A falta das plantas de locação e relatórios de sondagem, itens fundamentais para a avaliação, estão justificadas nos desenhos dos projetos estruturais, encontrados no Anexo A.

O projeto analisado cumpre a maioria dos requisitos apresentados pelo check-list do Guia de Análise de Projetos Rodoviários do DNIT, encontrado no Anexo B, o que mostra o projeto está em condições de aceitação com ressalvas, visto que falta apresentar alguns itens essenciais no projeto, porém não compromete a segurança.

Conclui-se que este trabalho foi de suma importância para a formação acadêmica, pois se pôde aplicar todos os conhecimentos adquiridos durante todo o curso de Engenharia Civil.

6. REFERÊNCIAS

ABECE. Recomendação Abece 002:2015 Avaliação técnica do projeto de estruturas de concreto. 2015. Disponível em <<https://site.abece.com.br/wp-content/uploads/2022/03/Recomendacao-002-2015-Atividade-de-Avaliacao-Tecnica-de-Projetos-online.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2023.

ARAÚJO, Daniel de Lima. Projeto de ponte em concreto armado com duas longarinas. **Goiânia: EEC/UFG**, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, 2023;

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR-7187 - Projeto de pontes, viadutos e passarelas de concreto armado, 2021;

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR-7188 - Carga móvel rodoviária em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas, 2013;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: ações e segurança nas estruturas: procedimento. 2004.

DE OBRAS, DNER Manual de Projeto. de-Arte Especiais. **Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica, Rio de Janeiro, Brazil**, 1996.

DNIT, GUIA DE ANÁLISE DE PROJETOS RODOVIÁRIOS, 2018.

EL DEBS, Mounir Khalil; TAKEYA, Toshiaki. Pontes de concreto. **São Carlos, USP–Universidade São Paulo**, 2003.

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa et al. Uma introdução ao estudo das pontes em viga. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 4, n. 1, p. 115-115, 2017.

FIRMINO, Paul Clívilan Santos; LIRBÓRIO, Lúcia Ferreira. Arapiraca/AL e Itabaiana/SE, Brasil: apontamentos acerca do processo de industrialização em dois centros regionais. **Geosul**, v. 33, n. 68, p. 201-222, 2018.

GOOGLE. **Google Earth website**. <http://earth.google.com/>, 2023.

JJMF ENGENHARIA ESTRUTURAL LTDA. **Memória de cálculo**. 2021. 47 p.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. Editora Blucher, 2018.

MARINHO, Diogo Vasconcelos. **Métodos construtivos de pontes**. 2012. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

MATTOS, T. S., 2001, **Programa para Análise de Superestruturas Pontes em Concreto Armado e Protendido** , Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, Normas para o Projeto das Estradas de Rodagem, 1973.

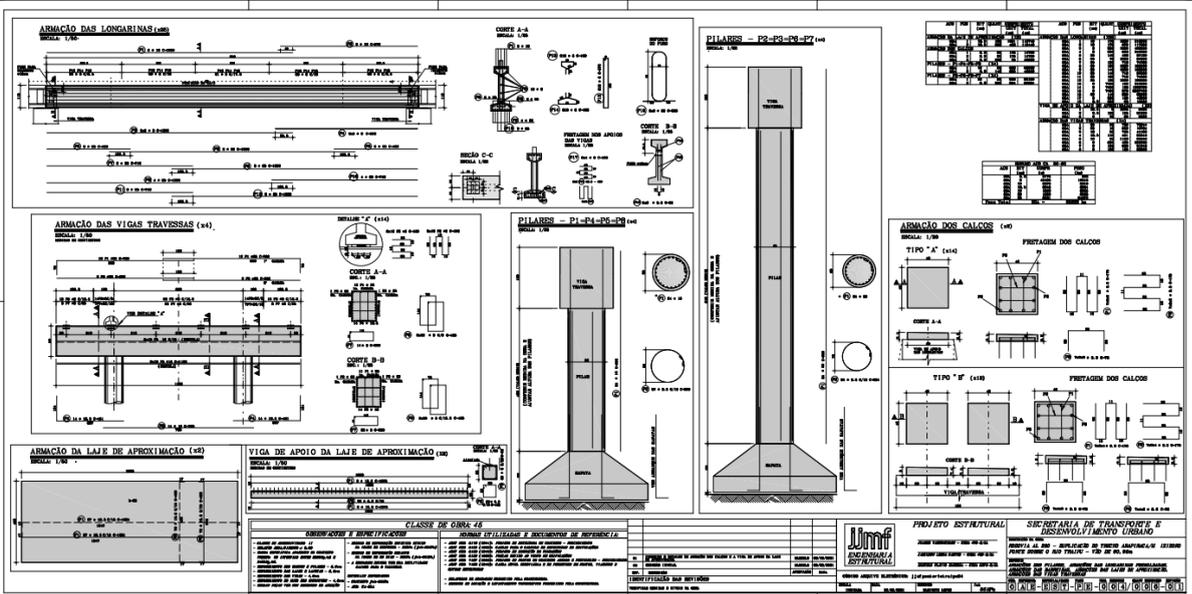
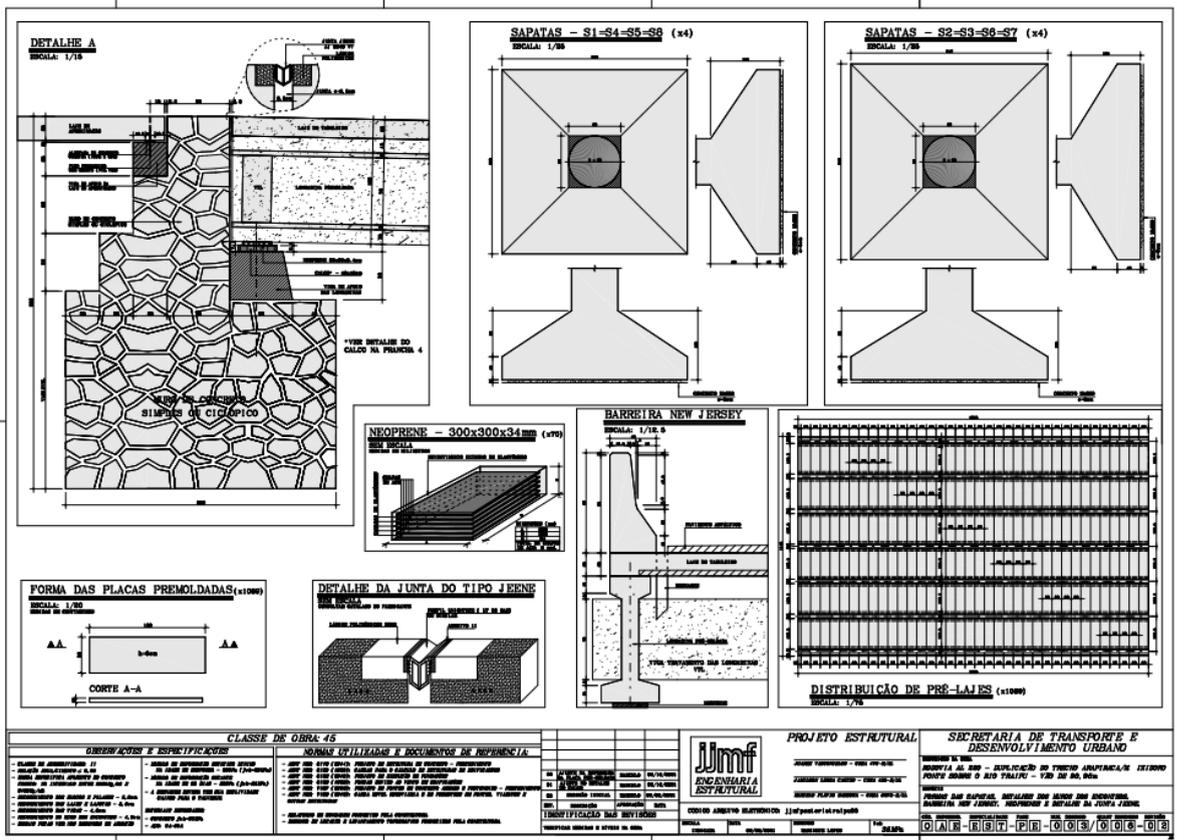
PINHO, Fernando Ottoboni; BELLEI, Ildony Hélio. **Pontes e viadutos em vigas mistas**. Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2007.

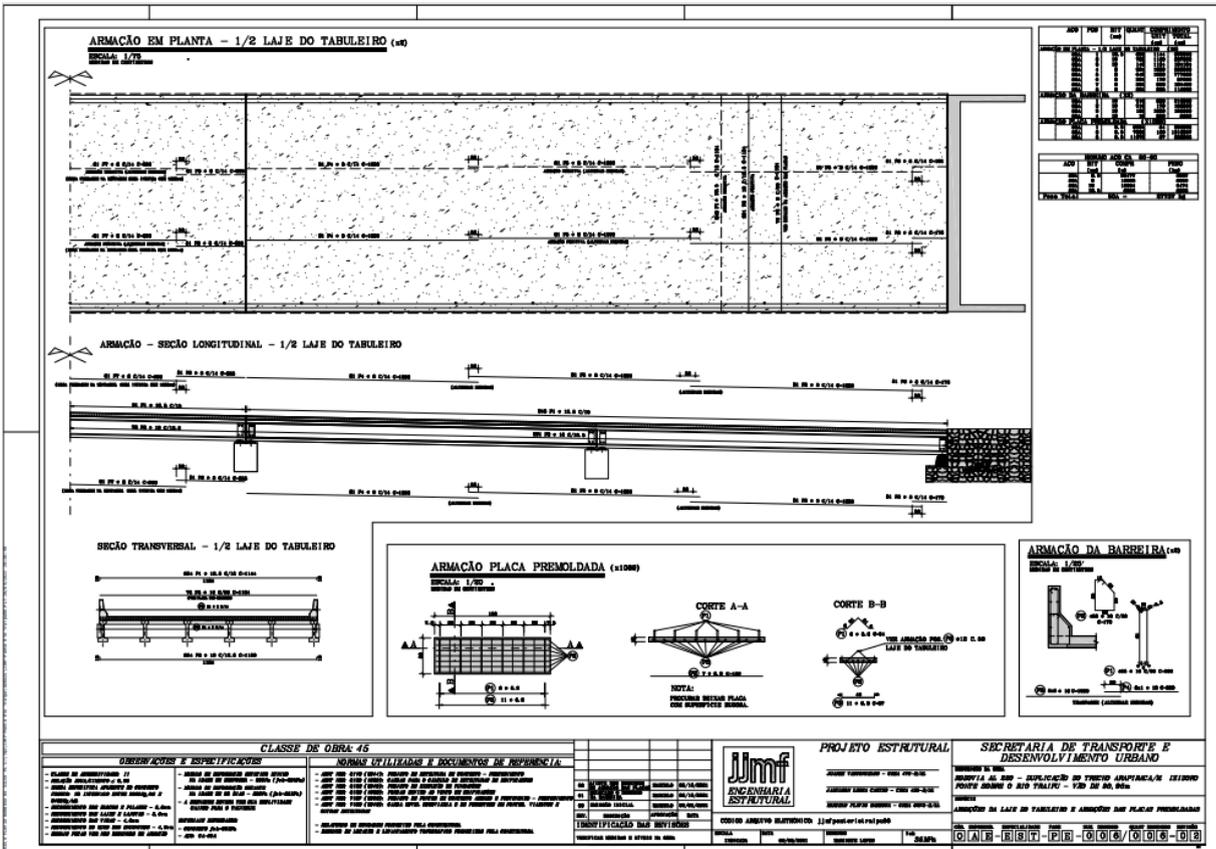
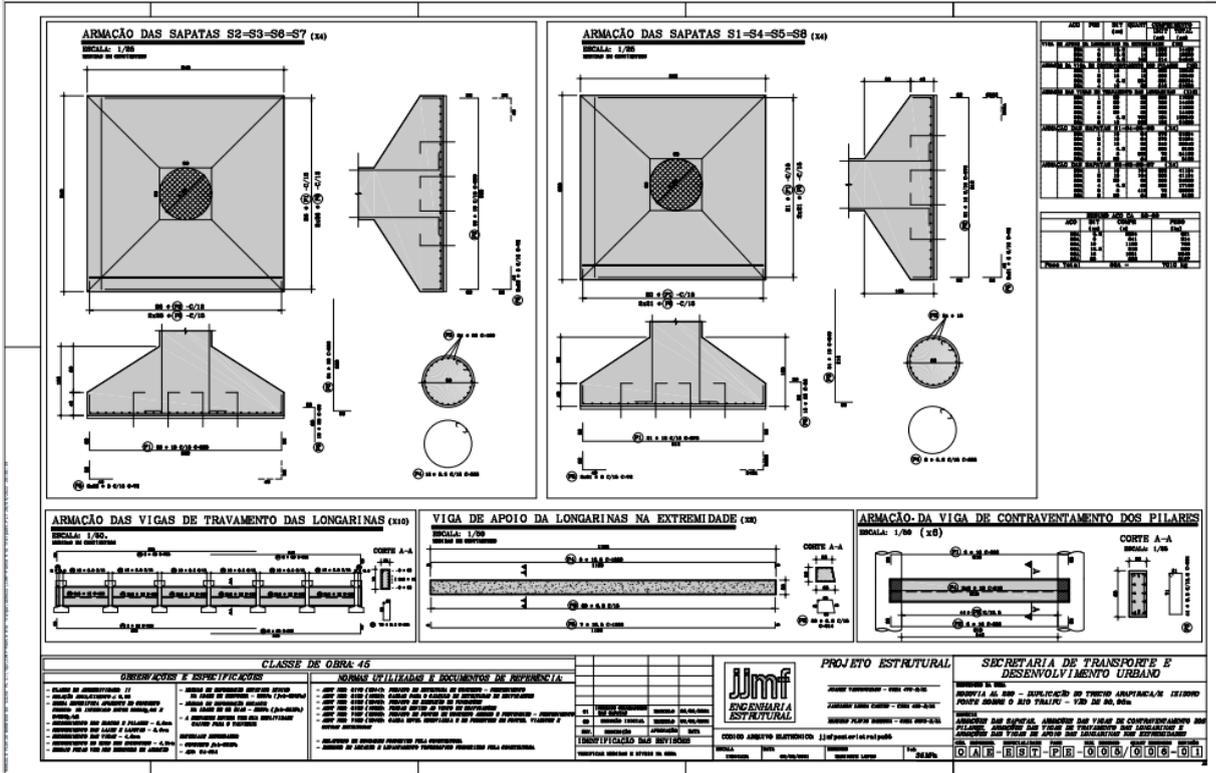
ROJAS ERASO, A. I. **Análise de confiabilidade de longarinas de pontes ferroviárias de concreto armado**. 2011. Tese de Doutorado. Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

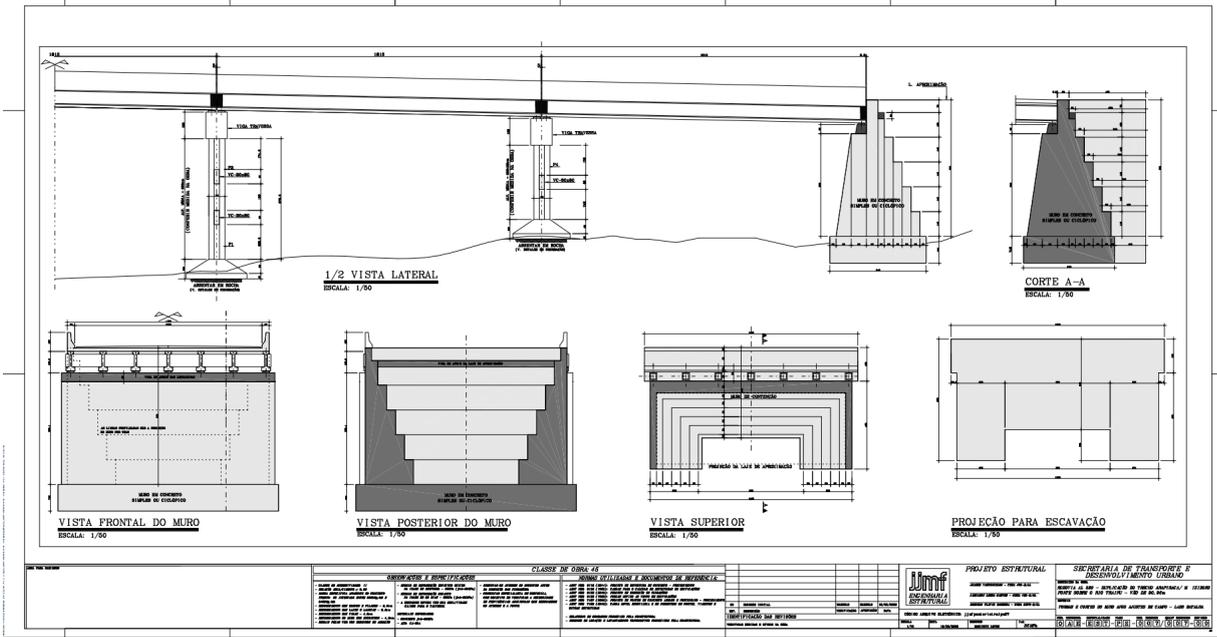
SCHMÖGEL, Simoní; SCHMITZ, Rebeca Jéssica. COMPARAÇÃO DE PROJETOS PADRONIZADOS PARA PONTES EM CONCRETO ARMADO E MISTAS AÇO-CONCRETO. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 13, n. 4, 2022.

STUCCHI, Fernando Rebouças. Pontes e grandes estruturas. **São Paulo: Universidade de São Paulo**, 2006.

VALERIANO, Ricardo, Pontes. 1. ed., São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2021;







ANEXO B - VERIFICAÇÕES DE CONFORMIDADE

REFERENCIAL TÉCNICO E NORMATIVO				Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
1.	Os documentos normativos utilizados são os indicados no Termo de Referência (TR)?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.	A utilização de outros documentos não referenciados no TR foi justificada?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
FORMALIZAÇÃO DE RESPONSABILIDADES				Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
3.	Foram incluídos os documentos referentes à formalização de responsabilidades?							
	a.	Anotação de responsabilidade técnica (ART) do profissional responsável pelo projeto de pontes e viadutos, com comprovante de pagamento		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	b.	Anotação de responsabilidade técnica (ART) do profissional responsável pelas sondagens, com comprovante de pagamento		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	c.	Declaração de responsabilidade técnica pelo cálculo e verificação dos quantitativos de serviço		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	d.	Outros documentos exigidos pelo TR		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
VERIFICAÇÕES DE CARÁTER GERAL				Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
4.	O conteúdo apresentado compreende todo escopo previsto pelo TR?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.	O mapa de localização da obra foi apresentado?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6.	Foi apresentado o quadro resumo das composições e das quantidades de serviço?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7.	Os volumes do projeto impresso estão apresentados conforme as exigências do TR?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
8.	O projeto em mídia digital está apresentado conforme as exigências do TR?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
VERIFICAÇÕES ESPECÍFICAS DA DISCIPLINA				Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
Pontos de interseção com as disciplinas antecessoras								
9.	O Projeto de OAE guarda compatibilidade com as informações fornecidas pelo estudo geotécnico, estudo hidrológico e o projeto geométrico			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
10.	O perfil geológico com a seção longitudinal da OAE está compatível com os dados do estudo geotécnico?			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11.	A indicação do nível normal, da máxima enchente e da seção topo batimétrica de vazão calculada está compatível com a apresentada no estudo hidrológico?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
12.	O número/largura de faixas de rolamento, a faixas de segurança, o acostamento, o passeio, a barreira, os gabaritos verticais e horizontais da OAE estão compatíveis com o apresentado no projeto geométrico?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Verificação da consistência geral do projeto								
13.	O trabalho desenvolvido está consistente com o objeto contratado?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
14.	O trabalho desenvolvido levou em consideração as condições locais do empreendimento?			<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Concepção da obra	Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
15. A classe de agressividade ambiental mínima adotada é II?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
16. A descrição da obra está apresentada?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
17. A justificativa técnica pela solução adotada está apresentada?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Estudos geológicos e geotécnicos para OAEs					
18. A quantidade de sondagens caracteriza suficientemente do solo onde estão as fundações?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
19. Os boletins de sondagens apresentado atendem a ABNT/NBR-6484-2001?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
20. A cota inferior da sondagem de investigação do solo está abaixo da cota de assentamento da fundação do apoio?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
21. Os boletins de sondagem rotativa apresentados atendem ao Capítulo 5, itens 5.8, do Manual de Sondagens ABGE-2013?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Verificações comuns para concreto armado e protendido					
22. O dimensionamento da OAE está apresentado em sequência lógica?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
23. A indicação do programa utilizado para o dimensionamento da OAE está indicado?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
24. Está apresentado o dimensionamento de todos os elementos da OAE?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
25. As ações permanentes estão considerando:					
a. Peso próprio dos elementos estruturais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b. Peso da pavimentação, barreiras de concreto, guarda corpo e dispositivos de sinalização	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c. Empuxos de terras e líquidos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
d. As forças de protensão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
e. Deformações por fluência e retração do concreto, por variação de temperatura e deslocamento de apoios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
26. O peso próprio dos elementos estruturais atendem as especificações da ABNT/NBR-7187-2003?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
27. As cargas adotadas para o peso da pavimentação atende a ABNT/NBR-7187-2003?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
28. As ações variáveis estão considerando:					
a. Cargas móveis	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b. Cargas de construção	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c. Cargas de vento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
d. Empuxo da terra provocado por cargas móveis	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
e. Pressão da água em movimento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
f. Efeitos dinâmico do movimento das águas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
g. As variações de temperatura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
29. As cargas movéis estão dimensionadas de acordo com ABNT/NBR-7188-2013?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

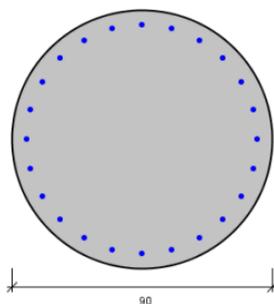
	Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
30. O coeficiente de impacto vertical está dimensionado de acordo com ABNT/NBR-7188-2013?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
31. O coeficiente de número de faixas está dimensionado de acordo com ABNT/NBR 7188-2013?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
32. O coeficiente de impacto adicional está dimensionado de acordo com ABNT/NBR-7188-2013?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
33. As forças horizontais devido à frenagem e aceleração estão dimensionadas de acordo com a ABNT/NBR-7188-2013?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
34. As forças horizontais devido à força centrífuga estão dimensionadas de acordo com a ABNT/NBR-7188-2013?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
35. O dimensionamento dos pilares situados junto as faixas rodoviárias estão de acordo com a ABNT/NBR-7188-2013?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
36. O dimensionamento das barreira de concreto atende as orientações das ABNT/NBR-14885-2016 e ABNT/NBR-15486-2016?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
37. Os aparelhos de apoio escolhidos devem atender aos Itens 9.9.1 e 9.9.2 da ABNT/NBR-7187-2003?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
38. O dimensionamento dos consolos para substituição dos aparelhos de apoio estão apresentados?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
39. O gabarito vertical atende ao Quadro I do DNER/IPR-698-1996?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
40. O gabarito de navegação determinado pelas autoridades competentes está sendo respeitado?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
41. O dimensionamento da laje de transição atende ao DNER/IPR-698-1996?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
42. O dimensionamento das cortinas atende ao DNER/IPR-698-1996?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
43. O dimensionamento das alas atende ao documento normativo DNER/IPR-698-1996?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
44. O dimensionamento das fundações da OAE atende a ABNT/NBR-6122-2010?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Verificações específicas para concreto protendido					
45. O dimensionamento dos elementos protendidos atendem a ABNT/NBR-6118-2014?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
46. A força de protensão indicada no projeto respeita as premissas indicadas na NBR-6118-2014?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
47. Na memória de cálculo está considerado as perdas imediatas da força de protensão (atrito, cravação da ancoragem, deformação do concreto), de acordo com a ABNT/NBR 6118-2014?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
48. Na memória de cálculo está considerado as perdas progressivas da protensão (retração e fluência do concreto e relaxação do aço), de acordo com a ABNT/NBR-6118-2014?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Desenhos das obras de arte especiais					
49. A concepção da fase executiva está de acordo com a básica?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
50. Nos desenhos do projeto de OAE estão apresentados os seguintes itens?					
a. Locação da obra em planta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b. Locação da obra em perfil	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c. Elevações	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
d. Plantas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

	Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
e. Cortes longitudinais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
f. Cortes transversais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
g. Detalhes estruturais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
h. Detalhes das protensões (ancoragens, cabos e outros)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
i. Cotas de todos os elementos que necessitam de fôrma	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
j. Informações das contra flechas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
k. Previsão de espaços para lançamento do concreto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
l. Apoios auxiliares para escoramentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
m. Consolos para substituição dos aparelhos de apoio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
n. Dispositivos de drenagem (drenos)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
o. Ligação entre a barreira rígida e a barreira flexível	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
p. Elementos de sinalização	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
q. Detalhes de pingadeiras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
r. Detalhes das barreiras rígidas de proteção (New Jersey)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
s. Detalhes das armações em todos os elementos estruturais e não estruturais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
t. Tabelas de aço estão com posição, comprimento unitários e totais e pesos por bitola e totais	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
u. Tabelas de aço estão compatíveis com os desenhos de armações detalhados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
51. As especificações técnicas (notas) dos desenhos contém as seguintes informações?					
a. Registro da resistência característica à compressão do concreto (fck)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b. Especificação de fckj para as etapas construtivas, como retirada de cimbramento, aplicação de protensão ou manuseio de pré-moldados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c. Especificação dos requisitos correspondentes à durabilidade da estrutura e elementos pré-moldados, durante sua vida útil, inclusive da classe de agressividade adotada	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
d. Módulo de deformação mínimo na idade de desforma, movimentação de elementos pré-moldados ou aplicação de protensão	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
e. Outras propriedades necessárias à estabilidade e à durabilidade da estrutura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
f. A relação de água/cimento em massa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
g. Ao cobrimento das armaduras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
h. A classe quanto a carga móvel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
i. As taxas de trabalho do terreno de fundação ou cargas nas estacas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
j. Descrição do tipo de aço adotado para obra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
k. A especificação do material dos aparelhos de apoio	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

	Sim	Não	N/A	Vol.	Pág.
l. Indicações dos materiais das juntas de dilatação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
m. Especificação dos cabos de protensão (fabricante, diâmetro, tamanho e outros)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
n. Força a ser aplicada na extremidade do macaco de protensão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
o. Tipo de bainha e coeficientes de atrito previstos em trechos retos e curvos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
p. Sequência de protensão dos cabos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
q. Tabela de alongamentos previstos, de acordo com o diagrama tensão/deformação do aço utilizado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
r. Idade e resistência mínima do concreto previstas para operação de protensão	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
<p>Observações: Por se tratar de uma ponte em concreto armado, não apresenta elementos de ponte em concreto protendido. Informações relacionadas aos dados geológicos não foram concedidas para esse trabalho devido ao fato de serem realizadas por empresa terceirizada.</p>					

ANEXO C - ANÁLISE DOS PILARES DE MAIOR ALTURA (P-CALC)

PILARES DE MAIOR ALTURA: Dados Gerais

Seção Transversal:**Armação:** 24 ϕ 20 mm ($A_s = 75.40 \text{ cm}^2$)**Propriedade seção bruta de concreto:**Área: $A_c = 6362 \text{ cm}^2$ Centro de gravidade: $x_{cg} = 45 \text{ cm}$ $y_{cg} = 45 \text{ cm}$ Inércia em relação ao cg: $I_x = 3220623 \text{ cm}^4$ $I_y = 3220623 \text{ cm}^4$ **Taxa de armadura:** $\rho_s = 1.19 \%$ **Materiais:** Concreto $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ Aço $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ **Tipo de vinculação:** Pilar em Balanço**Comprimento:** $L = 900 \text{ cm}$ **Índice de Esbeltez:** $\lambda_x = 80$ $\lambda_y = 80$

PILARES DE MAIOR ALTURA: Dados Armadura

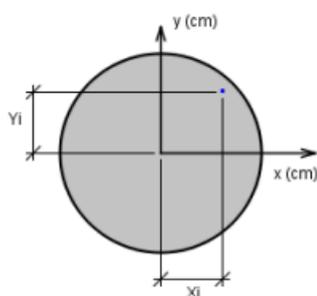


Figura: Sistema de coordenadas para as armaduras

BARRA	ϕ (mm)	X (cm)	Y (cm)
1	20.0	40	0
2	20.0	38.6	10.4
3	20.0	34.6	20
4	20.0	28.3	28.3
5	20.0	20	34.6
6	20.0	10.4	38.6
7	20.0	0	40
8	20.0	-10.4	38.6
9	20.0	-20	34.6
10	20.0	-28.3	28.3
11	20.0	-34.6	20
12	20.0	-38.6	10.4
13	20.0	-40	0
14	20.0	-38.6	-10.4
15	20.0	-34.6	-20
16	20.0	-28.3	-28.3
17	20.0	-20	-34.6
18	20.0	-10.4	-38.6
19	20.0	0	-40
20	20.0	10.4	-38.6
21	20.0	20	-34.6
22	20.0	28.3	-28.3
23	20.0	34.6	-20
24	20.0	38.6	-10.4

Tabela: Bitolas e coordenadas das armaduras

PILARES DE MAIOR ALTURA: Dados Esforços

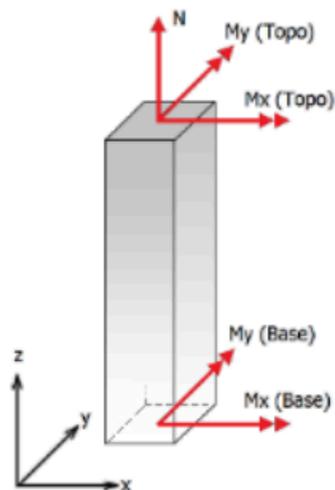


Figura: Convenção de sinais positivos dos esforços, $N < 0$ para compressão

Combinação	N_{sk}	$M_{sk,x}$ (Topo)	$M_{sk,y}$ (Topo)	$M_{sk,x}$ (Base)	$M_{sk,y}$ (Base)
1	-380.83	0	0	12.53	34.27

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [tf, tf.m]

PILARES DE MAIOR ALTURA: Resumo verificação ELU

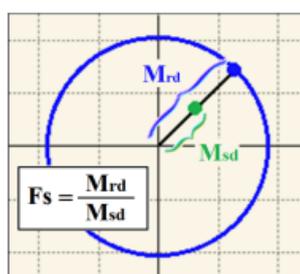


Figura: Esquema para determinação do fator de segurança (F.S.)

Combinação	N_{sd}	$M_{sd,x}$	$M_{sd,y}$	F.S.
1	-533.16	-111.76	139.15	1.08

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [tf, tf.m]

PILARES DE MAIOR ALTURA: Resultados da combinação nº 1 (F.S. mínimo)

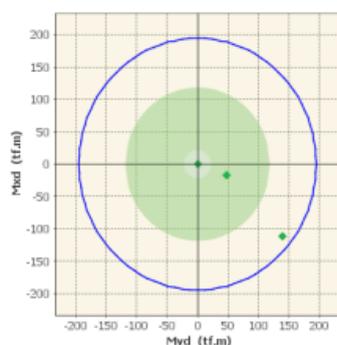


Figura: Diagrama de interação (Comb. 1)

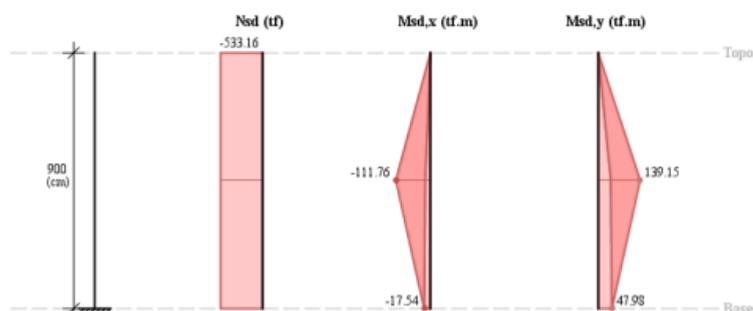


Figura: Esforços solicitantes de cálculo (Comb. 1)

Determinação dos efeitos locais de 2ª Ordem (Método pilar-padrão com curvatura aproximada)

Momentos em torno do eixo x:

O momento total em torno da direção x é calculado pela expressão:

$$M_{d,tot,y} = \alpha_b M_{1d,A} + N_{sd} \frac{\ell_e^2}{10} \frac{1}{r} = 111.76 \text{ tf.m}$$

Com:

$$\alpha_b = 0.80 + 0.20 M_c / M_A = 0.80 + 0.20 (-8.77) / -17.54 = 0.9, \alpha_b \geq 0.85;$$

$$M_{1d,A} = -17.54 \text{ tf.m e } N_{sd} = 533.16 \text{ tf};$$

$$\ell_e = 18 \text{ m};$$

$$1/r = 0.005 / [h_y (v + 0.5)] = 0.005 / [0.9 (0.33523 + 0.5)] = 0.00665 \text{ 1/m} \leq 0.005 / h_y = 0.00556 \text{ 1/m};$$

$$v = N_{sd} / (A_c f_{cd}) = 533.16 / (0.63617 \times 3500 / 1.4) = 0.33523.$$

Momentos em torno do eixo y:

O momento total em torno da direção y é calculado pela expressão:

$$M_{d,tot,y} = \alpha_b M_{1d,A} + N_{sd} \frac{\ell_e^2}{10} \frac{1}{r} = 139.15 \text{ tf.m}$$

Com:

$$\alpha_b = 0.80 + 0.20 M_c / M_A = 0.80 + 0.20 (23.99) / 47.98 = 0.9, \alpha_b \geq 0.85;$$

$$M_{1d,A} = 47.98 \text{ tf.m e } N_{sd} = 533.16 \text{ tf};$$

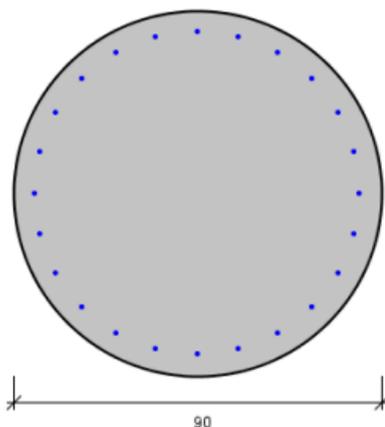
$$\ell_e = 18 \text{ m};$$

$$1/r = 0.005 / [h_x (v + 0.5)] = 0.005 / [0.9 (0.33523 + 0.5)] = 0.00665 \text{ 1/m} \leq 0.005 / h_x = 0.00556 \text{ 1/m};$$

$$v = N_{sd} / (A_c f_{cd}) = 533.16 / (0.63617 \times 3500 / 1.4) = 0.33523.$$

ANEXO D - ANÁLISE DOS PILARES DE MENOR ALTURA (P-CALC)

PILARES DE MENOR ALTURA: Dados Gerais

Seção Transversal:**Armação:** 24 ϕ 16 mm ($A_s = 48.25 \text{ cm}^2$)**Propriedade seção bruta de concreto:**Área: $A_c = 6362 \text{ cm}^2$ Centro de gravidade: $x_{cg} = 45 \text{ cm}$ $y_{cg} = 45 \text{ cm}$ Inércia em relação ao cg: $I_x = 3220623 \text{ cm}^4$ $I_y = 3220623 \text{ cm}^4$ **Taxa de armadura:** $\rho_s = 0.76 \%$ **Materiais:** Concreto $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ Aço $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ **Tipo de vinculação:** Pilar em Balanço**Comprimento:** $L = 600 \text{ cm}$ **Índice de Esbeltez:** $\lambda_x = 53$ $\lambda_y = 53$

PILARES DE MENOR ALTURA: Dados Armadura

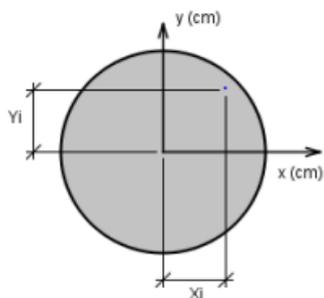


Figura: Sistema de coordenadas para as armaduras

BARRA	ϕ (mm)	X (cm)	Y (cm)
1	16.0	40	0
2	16.0	38.6	10.4
3	16.0	34.6	20
4	16.0	28.3	28.3
5	16.0	20	34.6
6	16.0	10.4	38.6
7	16.0	0	40
8	16.0	-10.4	38.6
9	16.0	-20	34.6
10	16.0	-28.3	28.3
11	16.0	-34.6	20
12	16.0	-38.6	10.4
13	16.0	-40	0
14	16.0	-38.6	-10.4
15	16.0	-34.6	-20
16	16.0	-28.3	-28.3
17	16.0	-20	-34.6
18	16.0	-10.4	-38.6
19	16.0	0	-40
20	16.0	10.4	-38.6
21	16.0	20	-34.6
22	16.0	28.3	-28.3
23	16.0	34.6	-20
24	16.0	38.6	-10.4

Tabela: Bitolas e coordenadas das armaduras

PILARES DE MENOR ALTURA: Dados Esforços

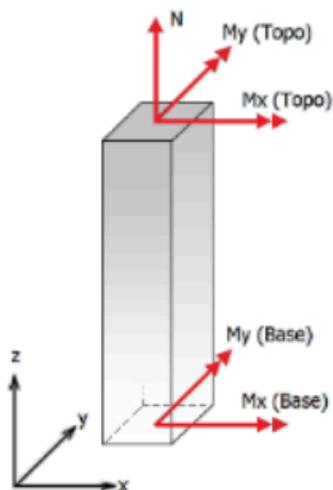


Figura: Convenção de sinais positivos dos esforços, $N < 0$ para compressão

Combinação	N_{sk}	$M_{sk,x}$ (Topo)	$M_{sk,y}$ (Topo)	$M_{sk,x}$ (Base)	$M_{sk,y}$ (Base)
1	-370.72	0	0	9.96	34.27

Tabela: Combinação de esforços, Unidades [tf, tf.m]

PILARES DE MENOR ALTURA: Resumo verificação ELU

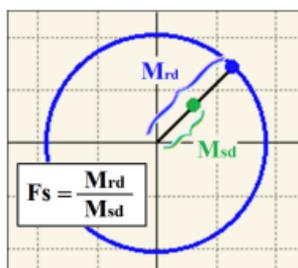


Figura: Esquema para determinação do fator de segurança (F.S.)

Combinação	N_{sd}	$M_{sd,x}$	$M_{sd,y}$	F.S.
1	-519.01	-54.07	84.7	1.66

Tabela: Resumo verificação ELU, Unidades [tf, tf.m]

PILARES DE MENOR ALTURA: Resultados da combinação nº 1 (F.S. mínimo)

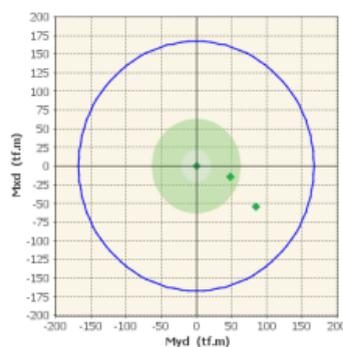


Figura: Diagrama de interação (Comb. 1)

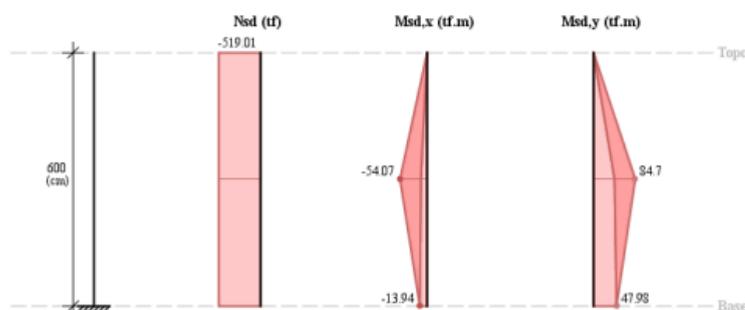


Figura: Esforços solicitantes de cálculo (Comb. 1)

Determinação dos efeitos locais de 2ª Ordem (Método pilar-padrão com curvatura aproximada)

Momentos em torno do eixo x:

O momento total em torno da direção x é calculado pela expressão:

$$M_{d,tot,y} = \alpha_b M_{id,\Lambda} + N_{sd} \frac{\ell_e^2}{10} \frac{1}{r} = 54.07 \text{ tf.m}$$

Com:

$$\alpha_b = 0.80 + 0.20 M_C / M_\Lambda = 0.80 + 0.20 (-6.97) / -13.94 = 0.9, \alpha_b \geq 0.85;$$

$$M_{id,\Lambda} = -13.94 \text{ tf.m e } N_{sd} = 519.01 \text{ tf};$$

$$\ell_e = 12 \text{ m};$$

$$1/r = 0.005 / [h_y (v + 0.5)] = 0.005 / [0.9 (0.32633 + 0.5)] = 0.00672 \text{ 1/m} \leq 0.005 / h_y = 0.00556 \text{ 1/m};$$

$$v = N_{sd} / (A_c f_{cd}) = 519.01 / (0.63617 \times 3500 / 1.4) = 0.32633.$$

Momentos em torno do eixo y:

O momento total em torno da direção y é calculado pela expressão:

$$M_{d,tot,y} = \alpha_b M_{id,\Lambda} + N_{sd} \frac{\ell_e^2}{10} \frac{1}{r} = 84.7 \text{ tf.m}$$

Com:

$$\alpha_b = 0.80 + 0.20 M_C / M_\Lambda = 0.80 + 0.20 (23.99) / 47.98 = 0.9, \alpha_b \geq 0.85;$$

$$M_{id,\Lambda} = 47.98 \text{ tf.m e } N_{sd} = 519.01 \text{ tf};$$

$$\ell_e = 12 \text{ m};$$

$$1/r = 0.005 / [h_x (v + 0.5)] = 0.005 / [0.9 (0.32633 + 0.5)] = 0.00672 \text{ 1/m} \leq 0.005 / h_x = 0.00556 \text{ 1/m};$$

$$v = N_{sd} / (A_c f_{cd}) = 519.01 / (0.63617 \times 3500 / 1.4) = 0.32633.$$