

Trabalho de Formatura II

ADAPTAÇÃO DA PONTE CIDADE-UNIVERSITÁRIA

Projeto de passarela para pedestres e bicicletas

Alunos :

Mathilde Rousseaux - Escola Politécnica, Civil
Pedro Akio Hasse - FAU, Arquitetura e Urbanismo
Philippe Hannequart - Escola Politécnica, Civil
Roch de Hédouville - Escola Politécnica, Civil

Professor orientador :

Júlio Fruchtengarten

Banca de avaliação :

Eduardo de Moraes Barreto Campello
Henrique Lindenbergs Neto

São Paulo, 2014

Catalogação-na-publicação

Rousseaux, Mathilde

Adaptação da ponte cidade universitária : projeto de passarela para bicicletas e pedestres anexo à ponte / M. Rousseaux, P.A. Hasse, P. Hannequart, R. de Hédouville. -- São Paulo, 2014.
95 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.

1.Estruturas metálicas 2.Passarelas 3.Planejamento territorial urbano 4.Pontes I.Hasse, Pedro Aoki II.Hannequart, Philippe III. Hédouville, Roch de IV.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica V.t.

Resumo

Assim que São Paulo foi concebida seguindo – em parte – o urbanismo estético-viário, o crescimento da cidade caracteriza-se pela prioridade do uso do automóvel em detrimento de outras alternativas modais, utilizando grandes avenidas que saíam do centro até a periferia da cidade. Assim, o espaço para outros tipos de circulação fica deixado no segundo plano, e hoje os paulistas só podem constatar a falta de espaço para pedestres e ciclistas.

Nosso trabalho nasceu de nossas observações diárias, como alunos da USP, e fica diretamente ligado à essa história urbanística.

As únicas pontes ligando o Butantã e a USP ao outro lado do Rio Pinheiros são de difícil acesso para pedestres e ciclistas. O espaço para andar lá fica bem restrito, até perigoso. Além disso, as áreas de “recepção” nas duas extremidades das pontes também não estão adaptadas para a passagem de pessoas circulando sem carro. Lá, falta faixas de pedestres, sinalização para passar de um lado para o ou outro da via, mesmo havendo considerável passagem de pessoas.

Nosso ponto de vista é que os modos de circular não devem ser obsoletos, mas se combinar entre si, respeitando um ao outro, sem invasões. O nosso objetivo foi a valorização dos aspectos da paisagem e do contato entre as pessoas. Idealizamos isso para esse projeto, conviver com o existente e propor mudanças que possam melhorar a realidade e o convívio entre as diferenças.

Portanto, pensamos em projetar uma passarela exclusiva para pedestres e bicicletas nessa região, autorizando uma circulação com mais segurança e mais facilidade sobre o Rio. Após várias discussões, escolhemos focar na ponte Cidade-Universitária. A primeira coisa que nos chamou atenção fica bem visível para quem estiver atravessando o rio e olhar pelos lados das pontes : as duas margens do rio já são muito cheias em infraestruturas. Linha da CPTM, marginal Pinheiros, ciclovia nas margens, perto do rio mesmo, são muitas vias utilizando cada metro quadrado das margens. Para caber no lugar, decidimos usar uma estrutura metálica alargando a calçada já existente da ponte. Procuramos a integrar essa estrutura no ambiente local e no ambiente urbano dos dois lados da ponte também.

Esse trabalho que apresenta dum lado a integração da passarela na área urbana e do outro lado, o dimensionamento da estrutura metálica.

Sumário

Relatório de projeto

- I. Introdução
- II. Integração urbana e
- III. Desenvolvimento do projeto
- IV. Conclusão
- V. Bibliografia

Memória de cálculo pelo dimensionamento da estrutura

Introdução

- I. Tipologias estruturais e restrições geométricas do projeto
- II. Ações e combinações de ações consideradas
- III. Materiais utilizados, parâmetros mecânicos dos materiais
- IV. Dimensionamento do trecho anexo à ponte existente
- V. Dimensionamento do trecho sobre pilares, do lado da USP

Desenhos anexos

- Planta urbanismo
- Planta com eixos estruturais
- Cortes do projeto
- Detalhe das ligações do trecho anexo
- Detalhe das ligações do trecho sobre pilares

ADAPTAÇÃO DA PONTE CIDADE UNIVERSITÁRIA

Trabalho Final de Formatura II
Escola Politécnica de Engenharia Civil da Universidade de São Paulo

Professor Orientador
Julio Fruchtengarten

Banca de avaliação
Eduardo de Moraes Barreto Campello
Henrique Lindenberg Neto

Mathilde Rousseaux – Escola Politécnica, Civil
Pedro Akio Hasse – FAU, Arquitetura e Urbanismo
Philippe Hannequart – Escola Politécnica, Civil
Roch de Hédouville – Escola Politécnica, Civil

Dezembro de 2014



(fig 1) Ponte flutuante na confluência do Rio Tietê com o Rio Pinheiros, 1968. Acervo Eliana Belo Silva

I. INTRODUÇÃO	pág. 7
A. PROJETO DE INFRA-ESTRUTURA, INTEGRAÇÃO URBANA CASO DE SÃO PAULO E REFERÊNCIAS NO MUNDO	pág. 7
B. REFERÊNCIAS	pág. 10
C. INTRODUÇÃO AO NOSSO PROJETO	pág. 12
II. INTEGRAÇÃO URBANA	pág. 16
A. LIGAÇÃO COM INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE	pág. 16
B. MEDIDAS DE INTEGRAÇÃO NA MALHA VIÁRIA URBANA	pág. 16
C. DIRETRIZES PRÓPRIAS AO LADO DA ESTAÇÃO DA CPTM	pág. 21
III. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	pág. 18
A. CONSIDERAÇÕES GERAIS	pág. 24
B. ASPECTOS TÉCNICOS-DADOS QUANTITATIVOS	pág. 24
C. TRECHO SOBRE A PONTE	pág. 32
D. CHEGADA NA USP	pág. 42
E. CHEGADA PANAMERICANA	pág. 54
IV. CONCLUSÃO	pág. 56
V. BIBLIOGRAFIA	pág. 57

I. INTRODUÇÃO

A. PROJETO DE INFRA-ESTRUTURA, INTEGRAÇÃO URBANA CASO DE SÃO PAULO E REFERÊNCIAS NO MUNDO

Desenvolver e criar espaços mais relevantes e agradáveis na cidade para circulação de pedestres e bicicletas tem sido uma questão amplamente discutida na política urbana de São Paulo nos últimos tempos. Numa sociedade onde muito de seus espaços foram planejados para carros, é difícil estabelecer um equilíbrio com outros meios de transporte e dialogar com as pessoas que fazem uso de meios de transporte conflitantes entre si.

São Paulo, como já mostramos no relatório anterior, cresceu em grande parte a partir de uma lógica rodoviária e portanto suas estruturas foram pensadas para atender essa lógica, excluindo outros possíveis modelos de desenvolvimento. Há alguns meses a Prefeitura lançou um plano de instalação de ciclofaixas no Centro e nos eixos principais na cidade. Apesar das críticas possíveis de serem feitas, isso mostra como o assunto de que estamos tratando vem

sendo debatido em diversas mídias. Nesse caso das ciclofaixas, por exemplo, logo após a instalação delas, o projeto foi bastante criticado, e pouco respeitado. Carros foram estacionados nas faixas, moradores e lojistas nos arredores com reclamações das novas faixas mostram o quanto divergentes são as opiniões sobre o tema. O que queremos discutir expondo essas divergências, não é a prioridade de um modal sobre o outro, nem atacar o uso dos carros, mas sim que algumas decisões devem ser tomadas levando em conta um coletivo e não só a preocupação individual de cada um.

Como disse o Professor da FAU Alexandre Delijaicov:
“Não há como implementar um projeto deste sem causar impactos individuais. (...) Se um morador ou um comerciante tem sua realidade alterada por conta disso, ele precisa arrumar uma solução. A rua é propriedade do povo. Não tem cabimento deixar carros estacionados”.



Notícias / Cidades

Apesar de populares, cicloviárias são alvo de críticas

Apoadas, além da maioria da população, por urbanistas e especialistas em transporte urbano, cicloviárias de SP geraram de abaixo-assinado

Daniel Fernandes | [notícias@band.com.br](#)

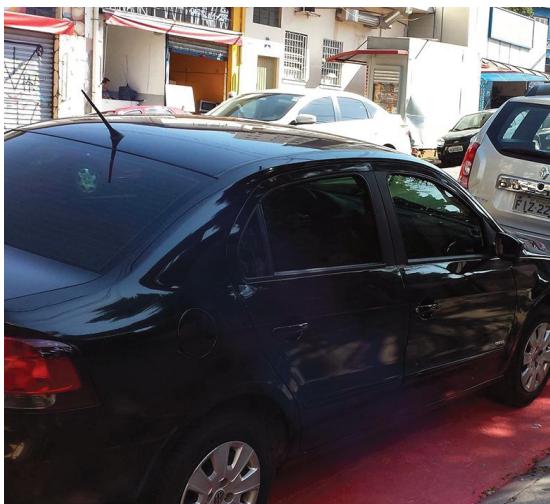
Enquanto 80% dos paulistas favoráveis à implementação de cicloviárias na capital paulista, de acordo com a Datafolha divulgada neste mês, a implementação dos espaços para os ciclistas tem causado inúmeras críticas de parte de moradores da cidade.

Promoção é de que a cidade de São Paulo tenha 200 quilômetros de cicloviárias até o final de 2014

Rivaldo Gomes/Folhapress

O prefeito Fernando Haddad

(fig 3) Notícia da polêmica das ciclofaixas - Fonte: band.com.br, 27/09/14



(fig 4) Foto do atual Prefeito Fernando Haddad inaugurando uma ciclofaixa na Avenida Vereador Abel Ferreira, 04/08/14

Uma cidade se tornar mais humana pode significar muitas coisas, dentre elas oferecer diversas opções de locomoção e mobilidade. Nessa cidade seria possível escolher entre o uso de transporte público, andar a pé, de bicicleta ou mesmo o uso do carro, uma cidade mais democrática, em que os cidadãos e os carros se acostumem ao fato que uma parte da cidade será “exclusiva” para bicicletas, outra para pedestres e assim por diante. Cada coisa no seu lugar.

Dito isso, procuramos cidades e países onde esse entendimento da necessidade de se diversificar os movimentos e locomoções no espaço urbano foi feito a várias décadas. Isso resultou na integração completa e natural entre os meios de transporte nas infraestruturas da circulação da cidade. Obras complexas estão sendo construídas, mudando a vida diária das pessoas em muitos países. São Paulo está começando por pintar ciclofaixas vermelhas no chão, às vezes sobre sarjetas laterais da rua, muitas vezes sem ter reformado a rua, possivelmente com falhas. Acreditamos que isso pode ser um bom começo, pelo menos a cidade iniciou uma

mudança no sentido de buscar outras fomas de locomoção, e isso é importante. Sabemos, porém que as ciclofaixas pura e simplesmente colocadas não são nem de longe a solução de um problema. A imagem da criança na (fig 5) ilustra duas coisas principais, uma é óbvia: o perigo frente ao contato entre duas coisas que não foram pensadas para conviver juntas, outra de certa forma mostra a carência de espaços públicos para lazer e para as pessoas. E talvez por isso essa imagem seja um pouco emblemática, a criança na falta desses espaços públicos decidiu recuperar um espaço que lhe falta, o espaço da diversão. Aí fica exposta a contradição do assunto que estamos tratando, e do perigo que ele traz se não for bem pensado. Ciclistas do grupo Ciclocidade se organizam frequentemente em reuniões para debater e reivindicar esses espaços. O grupo lançou uma campanha chamada “Adote uma ponte” para voluntários participarem e documentarem o que falta e o que poderia ser feito em cada ponte. Tudo isso é falado aqui para mostrar que já existe uma demanda e que as pessoas estão reivindicando outras formas de circulação.



(fig 5) Criança brincando no Elevado Paulo de Frontin no Rio de Janeiro, 20/09/13

Nosso trabalho é de certa forma uma expressão dessas demandas existentes.

Ao pensar em países com condições ideais para ciclistas, surgem imediatamente imagens de países do Norte da Europa, Holanda, Dinamarca, que são países muito avançados sobre essas questões. Existem, porém, outros projetos em muitos países além desses, como na Espanha, na Colômbia ou nos Estados Unidos. Citaremos alguns exemplos onde é possível ver como é feito a integração de diferentes meios de transporte, dando importância tanto às bicicletas e aos pedestres como aos carros. Projetos que mostram como é possível criar ou melhorar projetos existentes para buscar uma harmonia entre as diferentes opções de deslocamento urbano. Queremos deixar claro que o foco do projeto não é somente a ciclofaixa ou a bicicleta, não queremos cair no risco de fazer um trabalho com uma abordagem unilateral, onde só se fale de ciclofaixas. É uma alternativa interessante e queremos viabilizá-la da melhor forma possível, assim como queremos que seja

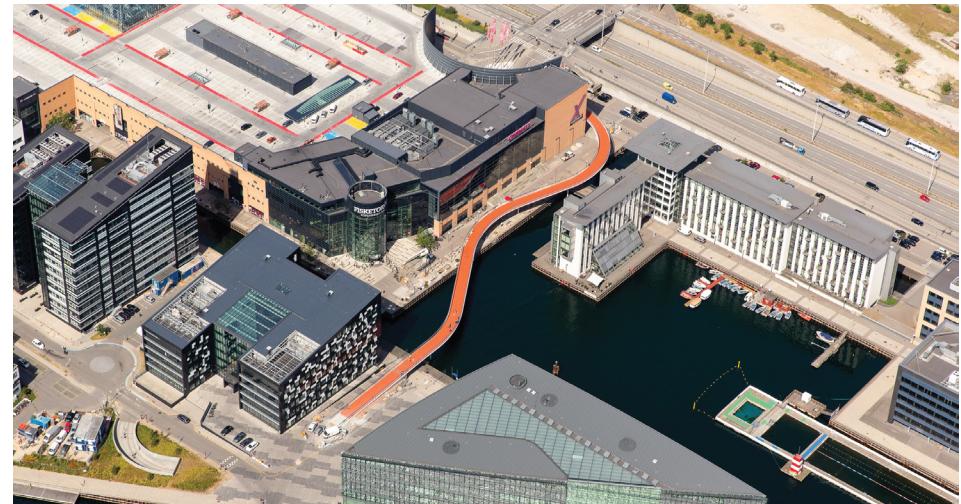


(fig 6) Protesto feito pelo grupo Ciclocidade na ponte da Freguesia do Ó, 22/09/14

possível andar a pé com conforto, usar transporte público ao invés do carro, e que eventualmente também se possa usar o carro. Reconhecemos também que casos que deram certo em outros países, não necessariamente vão funcionar no Brasil, já que os países europeus têm uma escala menor que a cidade de São Paulo. Ainda assim acreditamos em alguns potenciais e modelos, e achamos importante ver o que está sendo feito fora, e como se pensa o transporte em outros lugares do mundo como referências conceituais.



(fig 7) Ponte Erasmus em Roterdã, Holanda



(fig 8) Ponte Cykelslangen em Copenhaguen, Dinamarca

B. REFERÊNCIAS

Ponte Erasmus, em Roterdã na Holanda

Foi inaugurada em 1997. Ela possui duas pistas para carros, e a obra prevê calçadas e ciclovias dos dois lados e uma faixa central para passagem de VLTs. Além disso é uma ponte móvel, que se ergue para a passagem de barcos de grande porte. Essa ponte é bem ilustrativa para as discussões que levantamos acima porque mostra diversas situações ocorrendo ao mesmo tempo, a bicicleta, o VLT, os carros, sem que um atrapalhe o outro. Ela foi mostrado pelo arquiteto dinamarquês Jan Gehl em uma de suas palestras em São Paulo.

Ponte Cykelslangen em Copenhaguen, Dinamarca

Essa ponte tem 235 metros de comprimento e 4 metros de largura passando sobre o porto da cidade, na altura do primeiro andar dos prédios. Ela foi projetada pelo escritório dinamarquês DISSING+WEITLING, e trata de um problema que havia nessa área de integração entre ciclistas e pedestres, para resolver esse problema optou-se por separar a passagem de ciclistas e pedestres. A estrutura é relativamente simples, com vãos modestos de 17m.



(fig 9) Ponte em Eindhoven, Holanda

Ponte em Eindhoven, Holanda

Essa rotatória suspensa para bicicletas é localizada no cruzamento mais movimentado da cidade de Eindhoven. A infra-estrutura permite que os ciclistas provenientes de quatro rotas distintas ingressem na rotatória por rampas e saiam em qualquer outra avenida, sem encontrar em nenhum momento os carros que circulam na via expressa que passa justamente abaixo. Para além do resultado estético da ponte, achamos importante mostrá-la como referência da atenção que se dá no investimento para o pedestre e ciclista, aqui de certa forma ocorreu o contrário do que aconteceu em São-Paulo, a obra de infra-estrutura principal foi feita para os ciclistas e pedestres, e não para os carros.



(fig 10) Túnel Lugaritz-Morlans – San Sebastian, Espanha

Túnel Lugaritz-Morlans – San Sebastian, Espanha

Em 2009, a cidade de San Sebastian converteu um antigo túnel ferroviário num túnel para ser usado diariamente por pessoas que circulam entre dois bairros. O túnel possui 2km de comprimento e faz o papel de ligação entre dois bairros que antes eram inacessíveis aos ciclistas de ambos os lados. A estrutura foi pensada para aqueles que fazem esse caminho para trabalhar ou estudar. É possível também usar esta rota para chegar até à cidade vizinha, Bilbao.



(fig 11) Foto da situação existente na ponte Cidade-Universitária - 1/2



(fig 12) Foto da situação existente na ponte Cidade-Universitária - 2/2

C. INTRODUÇÃO AO NOSSO PROJETO

Depois de expressar essas demandas e referências podemos falar de como “atacaremos” o problema em nosso projeto.

C.1. Como nasceu o nosso projeto ?

Nosso trabalho nasceu de nossas observações diárias, como alunos da USP, e fica diretamente ligado à história urbanística de São Paulo. As únicas pontes ligando o Butantã e a USP ao outro lado do Rio Pinheiros são de difícil acesso para pedestres e ciclistas. O espaço para andar lá fica bem restrito, até perigoso. Além disso, as áreas de “recepção” nas duas extremidades das pontes também não estão adaptadas para a passagem de pessoas circulando sem carro. Lá, falta faixas de pedestres, sinalização para passar de um lado para o ou outro da via, mesmo havendo considerável passagem de pessoas.

C.2. Objetivos « ideais »

Nosso ponto de vista é que os modos de circular não devem ser obsoletos, mas se combinar entre si, respeitando um ao outro, sem invasões. O nosso objetivo foi a valorização dos aspectos da paisagem e do contato entre as pessoas. Idealizamos isso para esse projeto, conviver com o existente e propôr mudanças que possam melhorar a realidade e o convívio entre as diferenças.

Obras como a instalação feita pelo artista paulista Eduardo Srur “Trampolin” (fig 13) mostra como a relação entre as pessoas e o rio tem sido discutida ultimamente.



(fig 13) Instalação na ponte Cidade-Universitária



(fig 14) Infra-estruturas existentes nas margens ao redor da ponte

C.3. Nossa construção

Portanto, pensamos em projetar uma passarela exclusiva para pedestres e bicicletas nessa região, permitindo uma circulação com mais segurança e mais facilidade sobre o rio. Após várias discussões, escolhemos focar na ponte Cidade-Universitária.

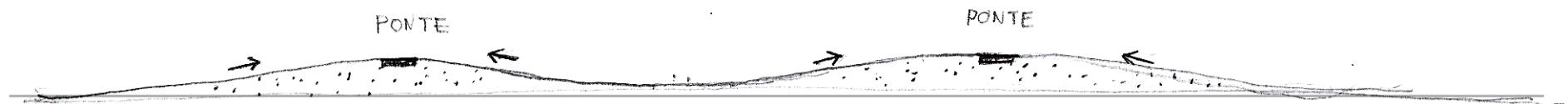
A primeira coisa que nos chamou atenção fica bem visível para quem estiver atravessando o rio e olhar pelos lados das pontes: as duas margens do rio já são muito densas em infra-estrutura (fig 14). Linha da CPTM, marginal Pinheiros, ciclovia nas margens, perto do rio mesmo, são muitas vias utilizando cada metro quadrado das margens. Por isso decidimos ao invés de construir mais uma infra-estrutura, usar uma estrutura metálica parasita à ponte existente alargando a sua calçada. O objetivo dessa iniciativa é conseguir, com uma mínima intervenção, resultados satisfatórios e capazes

de criar uma travessia mais qualificada na ponte existente. Procuramos integrar essa estrutura no ambiente local com as infra-estrutura urbana existente e com a malha urbana. É esse trabalho que vamos apresentar para vocês nesse relatório.





II. INTEGRAÇÃO URBANA



(fig 15) Integração de acesso às margens, rampas de acesso às passarelas

A. LIGAÇÃO COM INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE

a. Integração com as margens

A integração com as margens será feita por meio de rampas paralelas ao rio Pinheiros que possibilitem que as pessoas não precisem descer de suas bicicletas para chegar na ponte ou na raia. Ela poderia ser parte de um projeto que prevê outras passarelas ao longo do rio Pinheiros. Seria como montanhas que sobem e descem para chegar no nível das pontes.

b. Integração com a CPTM

Decidimos que a integração direta com a CPTM não seria prioridade e continuaria pela passarela existente. Pensamos que não caberia resolver esse problema e fazer uma ligação direta da passarela com a CPTM. Envolveria assuntos que implicariam em dimensionamentos de filas e catracas que não entram no mérito desse trabalho.

B. MEDIDAS DE INTEGRAÇÃO NA MALHA VIÁRIA URBANA

a. Objetivos gerais

Quanto à ligação urbana da ponte com o resto da cidade, nós procuramos a estabelecer acessos até a ponte maximizando a segurança e minimizando as distâncias percorridas pelos usuários. Tentamos traçar um percurso mais intuitivo, integrando sistemas de advertência bem visíveis para destacar a passagem dos pedestres e das bicicletas em lugares onde não era possível passar antes. Para se fazer, estudamos todas as configurações possíveis de itinerários de um pedestre ou de um ciclista no lugar, procurando desenhar um traçado inteligente e seguro, independentemente do lugar de onde você vem e para onde você vai.



(fig 16) Montagem da estrutura acabada e integração com a Passarela dos Estudantes

b. Diretrizes aplicadas nos dois lados da ponte

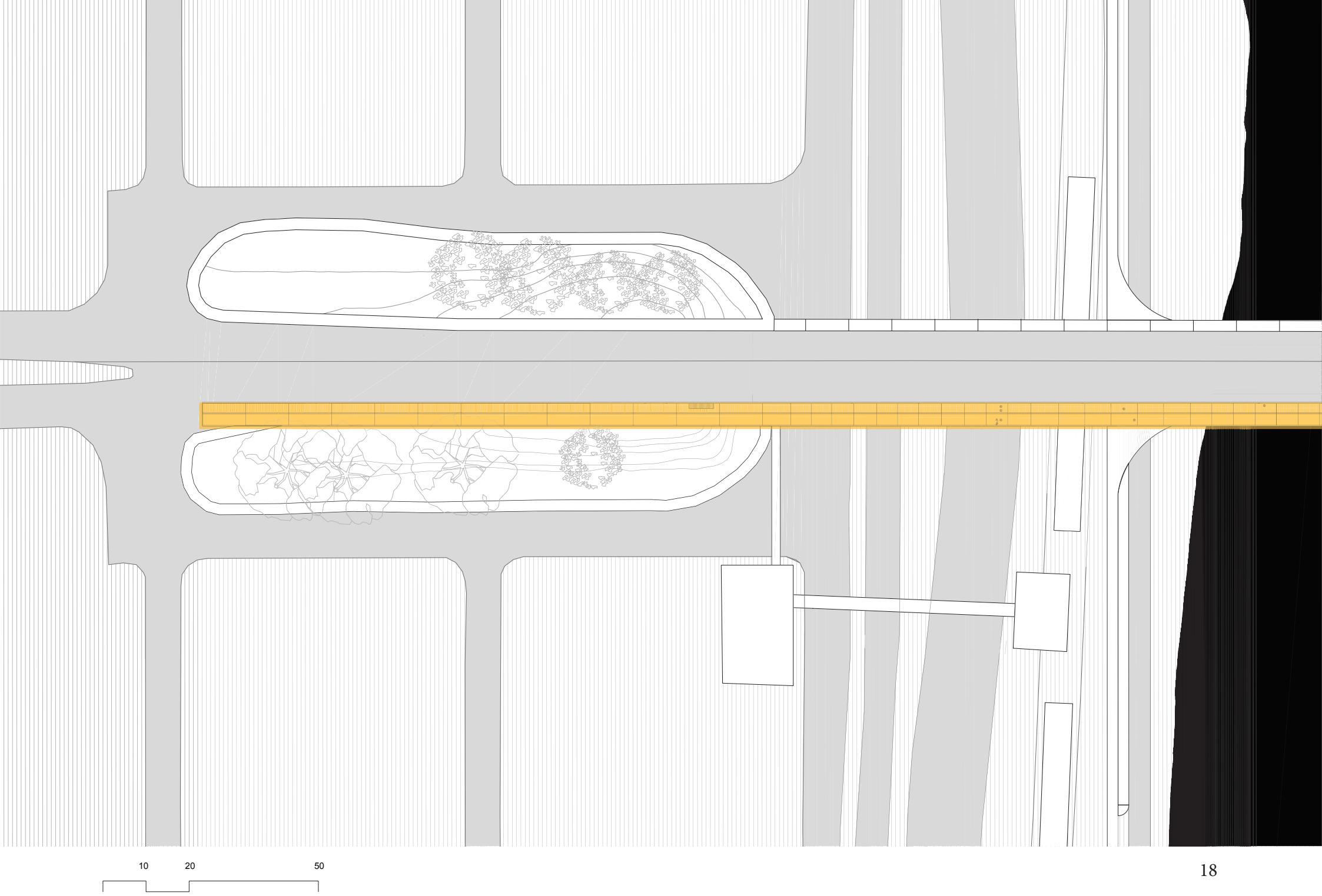
Tanto do lado da Praça Panamericana quanto da USP, a integração de passagens para pedestres e ciclistas foi feita respeitando princípios comuns, que resultam de bom senso e de uma lógica que integra essas formas de locomoção. O que implantamos procura resolver problemas e corrigir incoerências que observamos visitando o lugar. As soluções propostas são inspiradas do que está feito na França, na base do que está imposto no Código do Transito.

Problema 1: a característica principal das extremidades da ponte é que são interfaces entre vias urbanas residenciais e a marginal Pinheiros, onde a velocidade dos motoristas é alta. Nessas interfaces, a velocidade passa teoricamente, para quem sai da estrada, de 100km/h para 50km/h. O problema é que essa diminuição na velocidade não é respeitada, o que torna perigosa a travessia das vias.

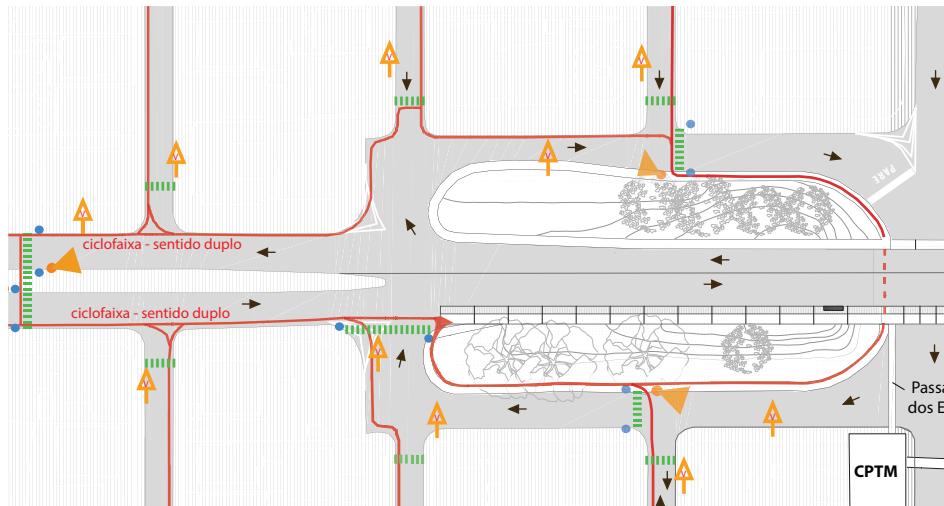
Solução: Na França, quando se quer implantar uma zona para pedestre num lugar onde passam carros, a velocidade dos mesmos tem que ser reduzida para 30km/h. Optamos pela implantação de uma sinalização vertical que faça o motorista reduzir sua velocidade. São os painéis laranja indicados na planta (pag 23), sempre colocados:

- nas saídas da marginal, nas curvas
- 25m antes das faixas de pedestres, no sentido de encontro daquelas

Problema 2: como já falamos, esses lugares de transição entre a ponte e os bairros residenciais dos dois lados não foram pensados para um deslocamento feito sem carro. E quem anda na ponte não consegue atingir com segurança qualquer lugar dos bairros nos arredores.





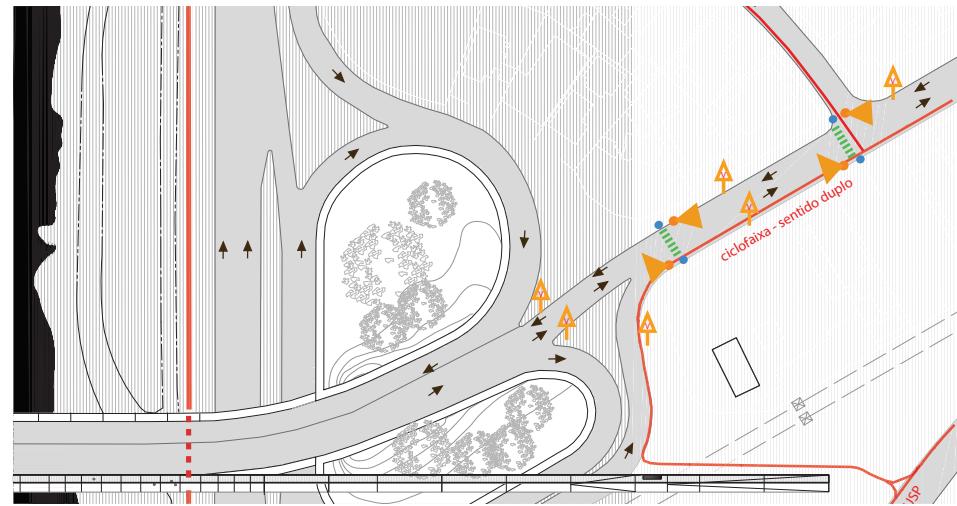


(fig 17) Integração com a malha urbana no lado da Praça Panamericana

Solução: para resolver esse problema, optamos pela instalação, em vários pontos, dos seguintes conjuntos:

- faixas de pedestres | | | |
- conjunto de faróis rápidos avisando a passagem de pedestres e bicicletas ↗
- sistema de botões de cada lado da faixa – acionamento dos faróis pelos usuários a pé ●

A implantação desses conjuntos foi feita em locais fora das curvas impostas pelo traçado das rodovias, para mais segurança e visibilidade dos usuários entre si, e onde é possível diminuir razoavelmente a velocidade dos carros durante um tempo controlado, para não atrapalhar o tráfego e o fluxo dos carros que pode ser importante nos horários-picos. Esse controle é possível com o uso de faróis acionados pelos pedestres e os ciclistas, cuja duração é fixa e suficiente para a travessia rápida da via – cerca de 30 a 40 segundos. Além disso a implantação ainda foi pensada respeitando o princípio



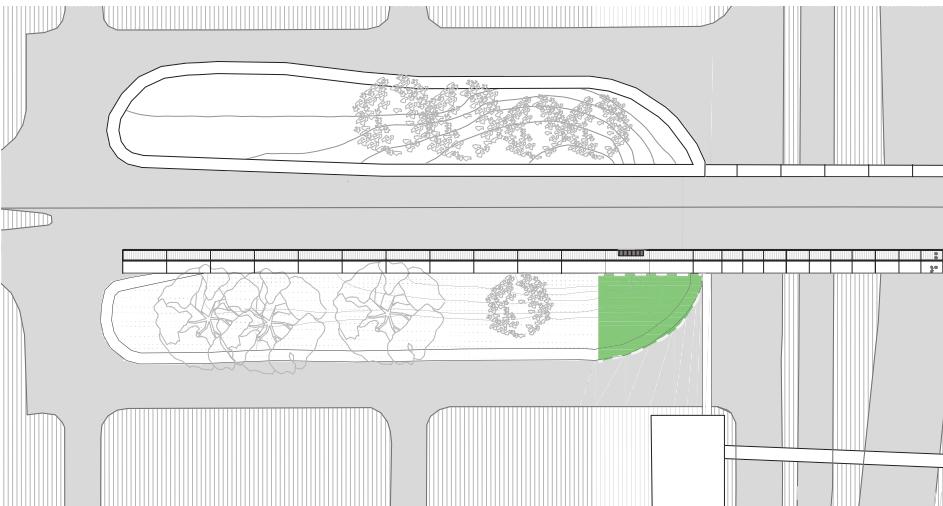
(fig 18) Integração com a malha urbana no lado da USP

de minimização das distâncias percorridas pelos usuários, interligando os bairros residenciais entre si.

Problema 3: Como ainda não foi implantada nenhuma malha de ciclofaixa nessa zona, fizemos uma proposição de implantação.

Solução: O traçado que pensamos será integrado a outros projetos urbanos de implantação de ciclovias mais gerais, tanto do lado da Praça Panamericana como do lado do Butantã. O nosso desenho da malha tenta respeitar critérios que achamos fundamentais, e que são os seguintes:

- a ciclovía deverá ser em sentido duplo. O objetivo é deixar a circulação livre, e não obrigar ou limitar a circulação dos ciclistas em uma direção só. Isso impõe uma largura mínima de 2,50m e uma sinalização específica – demarcação com pintura no chão - que permite delimitar os dois sentidos para conseguir um nível de segurança suficiente dentro da própria ciclovía.



(fig 19) Local de permanência - pequena praça a ser melhorada

- todas as ruas nos arredores têm que ser integradas na malha, para que qualquer morador do bairro saindo de sua casa possa andar com segurança durante todo o seu percurso. A largura da ciclovia poderia ser adaptada em função do uso feito dela, ou seja na ruas mais estreitas, a largura pode ser menor do que no eixo principal da ponte.

Com esses dois princípios e as consequências que decorrem deles, já conseguimos um traçado viável.

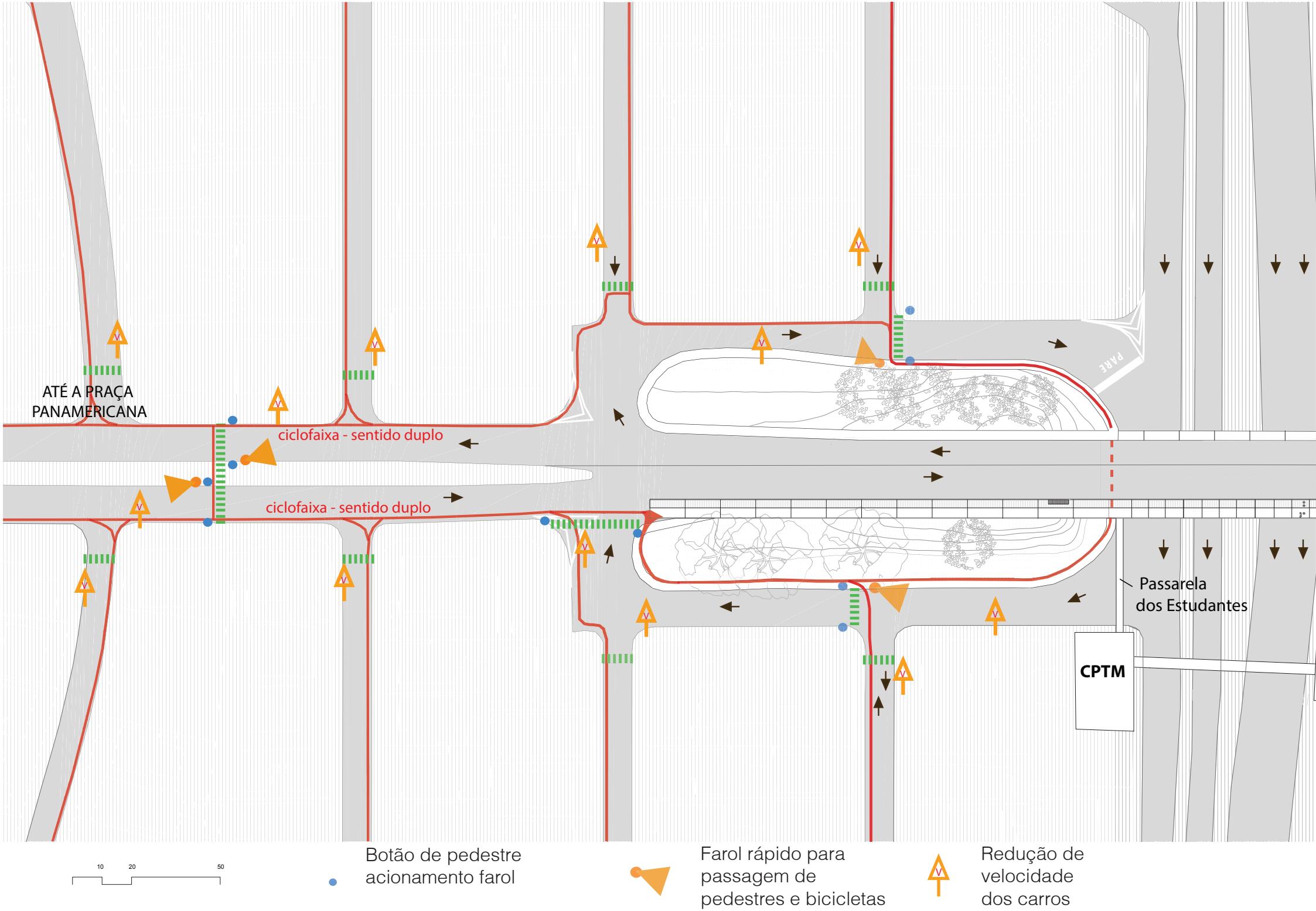
C. DIRETRIZES PRÓPRIAS AO LADO DA ESTAÇÃO DA CPTM

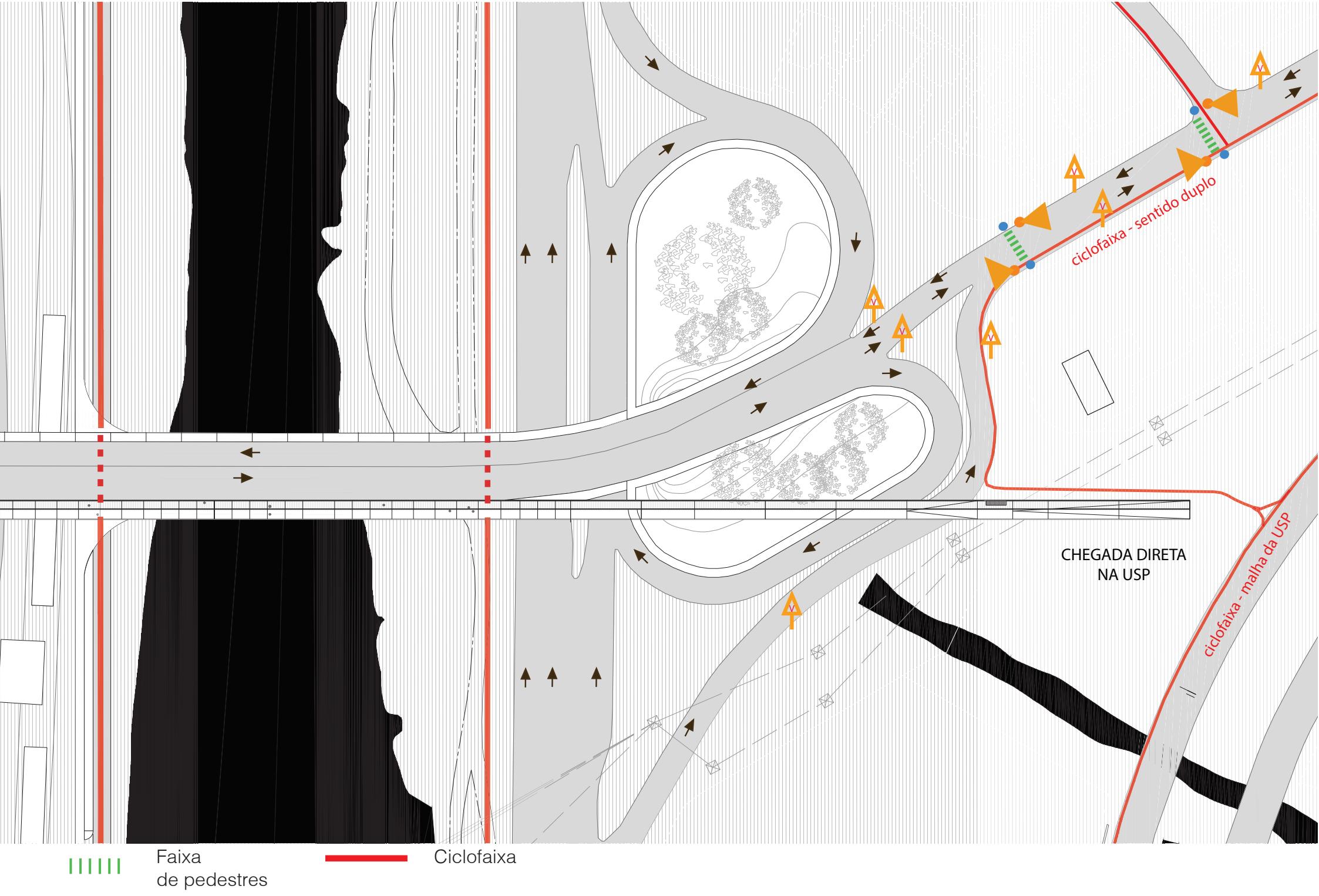
Após ter visitado várias vezes o lugar - para realizar medidas, plantas ou ver as posições das árvores que interferirão no projeto - percebemos que o acesso até a ponte que fica no lado do fluxo principal dos carros é bem movimentado durante o dia. Dessa observação, resultou a seguinte diretriz: a passagem nesse espaço é por natureza transitória. Vale a pena tentar melhorar o lugar e deixá-lo mais agradável, mas não é um lugar onde as pessoas vão querer per-



(fig 20) Imagem ilustrativa de ocupação da praça existente

manecer, pois elas estão ali de passagem com um destino definido. Porém, observou-se que algumas pessoas passam certo tempo no nível inferior da ponte. Abaixo da construção da ponte existe um centro comunitário onde se encontram pessoas que limpam esse trecho da cidade, se encontram, almoçam, descansam até chegar o horário do seu turno. É um espaço cedido pela Prefeitura e que aproveita uma área da ponte que teoricamente seria utilizada. Nas praças ao lado, operários se encontram e ficam conversando, enquanto um casal vende comidas e bebidas numa Combi para pessoas que passam no lugar, e ficam lá por um tempo. Essa praça é mais tranquila do que os espaços acima da ponte. Existem árvores que resguardam esse espaço e o protegem do sol. Esse lugar poderia ser melhorado, com mais bancos para descansar, até mesas para almoçar, etc... Além disso, percebemos que não existem barreiras de segurança entre a praça e a via. Uma proteção suave mas eficiente poderia ser colocada.





III. PROJETO - DESENHOS E ASPECTOS TÉCNICOS

A. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O projeto pode ser pensado em 3 momentos principais:

- o trecho sobre a ponte.
- chegada na USP
- chegada no lado da Praça Panamericana

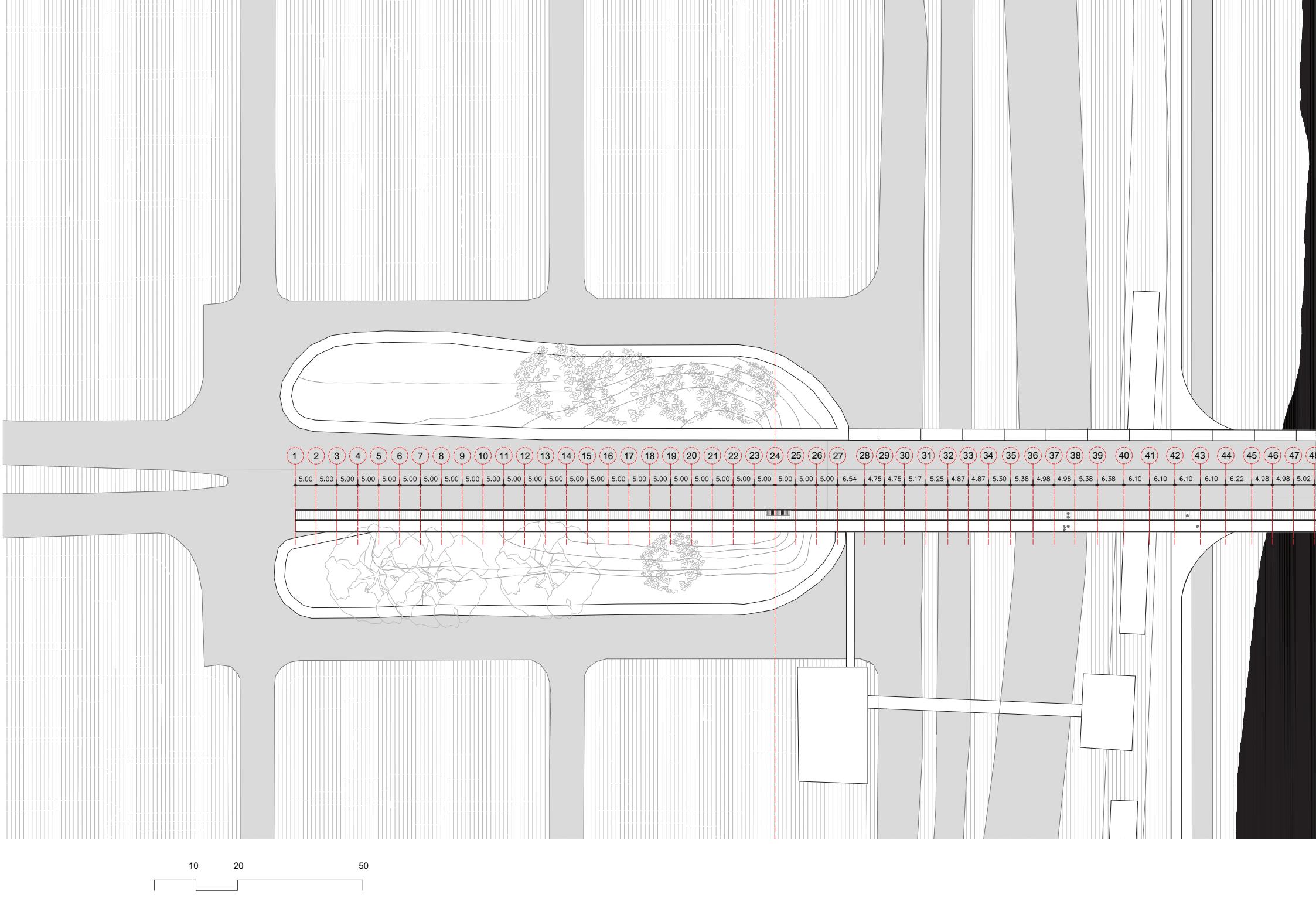
Cada um desses trechos tem suas restrições que levaram a soluções específicas para cada situação. Apesar de cada solução ser diferente, um trecho não pode existir sem o outro e a travessia só se faz travessia quando eles estão devidamente interligados. O trecho da ponte impõe uma modulação própria ditada pelas vigas existentes, enquanto nas margens tem-se mais liberdade para determinar vãos que são interessantes para o projeto. Esse relatório apresenta a nossa vontade. O documento anexo do Memorial de Cálculo (MC) discorre como isso pode ser feito, e apresenta os dimensionamentos da estrutura complementando esse relatório.

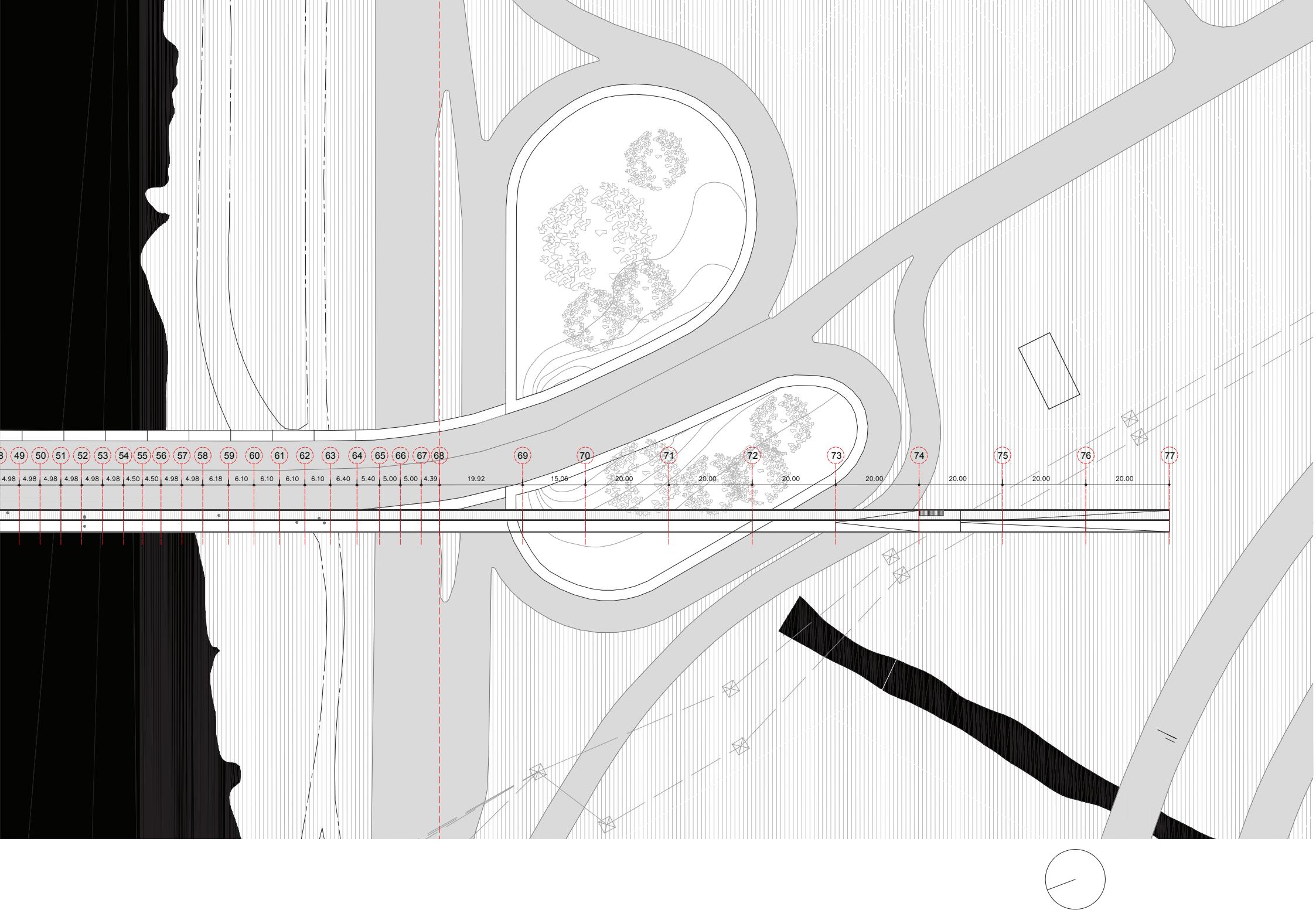
B. ASPECTOS TÉCNICOS-DADOS QUANTITATIVOS

No primeiro semestre deste trabalho, tínhamos estimado o número de pedestres e bicicletas atravessando a ponte “Cidade Universitária”, fazendo medições na hora-pico da manhã, em diferentes dias da semana. Contamos os usuários saindo da estação de trem da CPTM para ir até a USP, assim como os usuários simplesmente atravessando a ponte de um lado para o outro, nos dois sentidos. O escopo dessas pesquisas era o dimensionamento das larguras necessárias para uma travessia de pedestres, e para uma travessia de bicicletas, segundo as recomendações existentes no Brasil, ou as normas americanas bastante usadas em projetos brasileiros. Para a circulação de pedestres, foi utilizado o HCM (Highway Capacity Manual) americano, que propõe o conceito de níveis de serviço. Estimamos atualmente um número de 3.64 pedestres por minuto por metro de largura de faixa na hora-pico. Portanto, para alcançar um nível de serviço A (menos de 16 pedestres por minuto), uma faixa bidirecional de 2.50m de largura é suficiente.

Para o trânsito de bicicletas, foi utilizado o HCM (Highway Capacity Manual) americano e as recomendações do GEIPOT brasileiro (Grupo executivo de integração da política de transportes). Estimamos atualmente um número de 67 bicicletas por hora na hora-pico, somando as duas direções. De acordo com essas duas referências, uma faixa bidirecional para bicicletas de 2.50m de largura é suficiente. Tendo em vista a mudança no projeto em relação ao primeiro semestre, foi decidido juntar as duas faixas bidirecionais em uma única estrutura, delimitando o trânsito de pedestres e de bicicletas por meio de sinalização. No trecho anexo à ponte existente foi adotada uma largura total de 5.50m, considerando os 2.50m necessários para bicicletas, os 2.50m necessários para pedestres, e uma folga adicional de 50cm para permitir um melhor desempenho nos lugares com interferências (acesso para uma escada, para um elevador, acesso à passarela para a estação de trem) onde os caminhos das bicicletas e dos pedestres vão se cruzar.

No trecho da passarela apoiada sobre pilares na chegada do lado da USP, foi adotada uma largura total de 4.50m por três motivos. Em primeiro lugar, essa estrutura precisa de um espaçamento entre pilares de 20,0m para vencer o vão da alça de acesso à rodovia “Marginal Pinheiros”. A estrutura que vence esse vão seria muito pesada com uma largura de 5,50m, então a redução da largura (e do peso da passarela) se justifica em termos econômicos. Em segundo lugar, nesse trecho não vai ter nenhuma interferência, do tipo dos acessos diversos especificados no trecho anexo à ponte: as faixas não serão utilizadas para o cruzamento dos usuários da outra faixa. Por fim, o trecho sobre pilares se afasta da ponte existente, e assim se afasta também do ruído desconfortável provocado pelos carros. No trecho anexo à ponte existente podemos supor que o lado mais perto dos carros vai ser menos utilizado e que os usuários vão sempre tentar se aproximar do outro lado, com vista sobre o rio. No trecho sobre pilares, isso não ocorre.



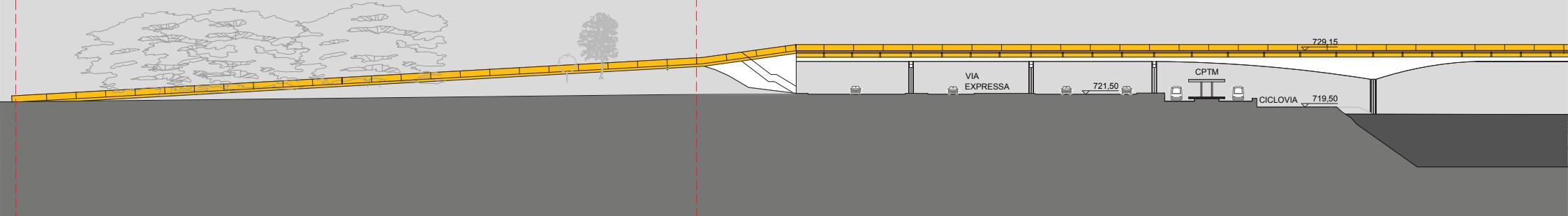


COMPRIMENTO TOTAL
525m

TRECHO SOBRE A PONTE-7
235m

CHEGADA ALTO DE PINHEIROS
115m

PRAÇA PAN-AMERICANA
←



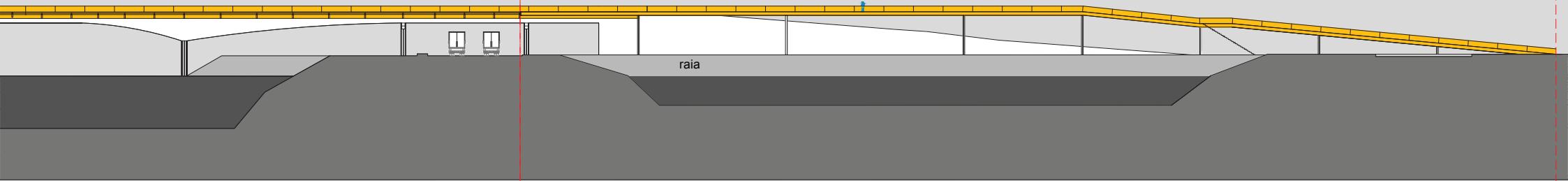
10 20 50

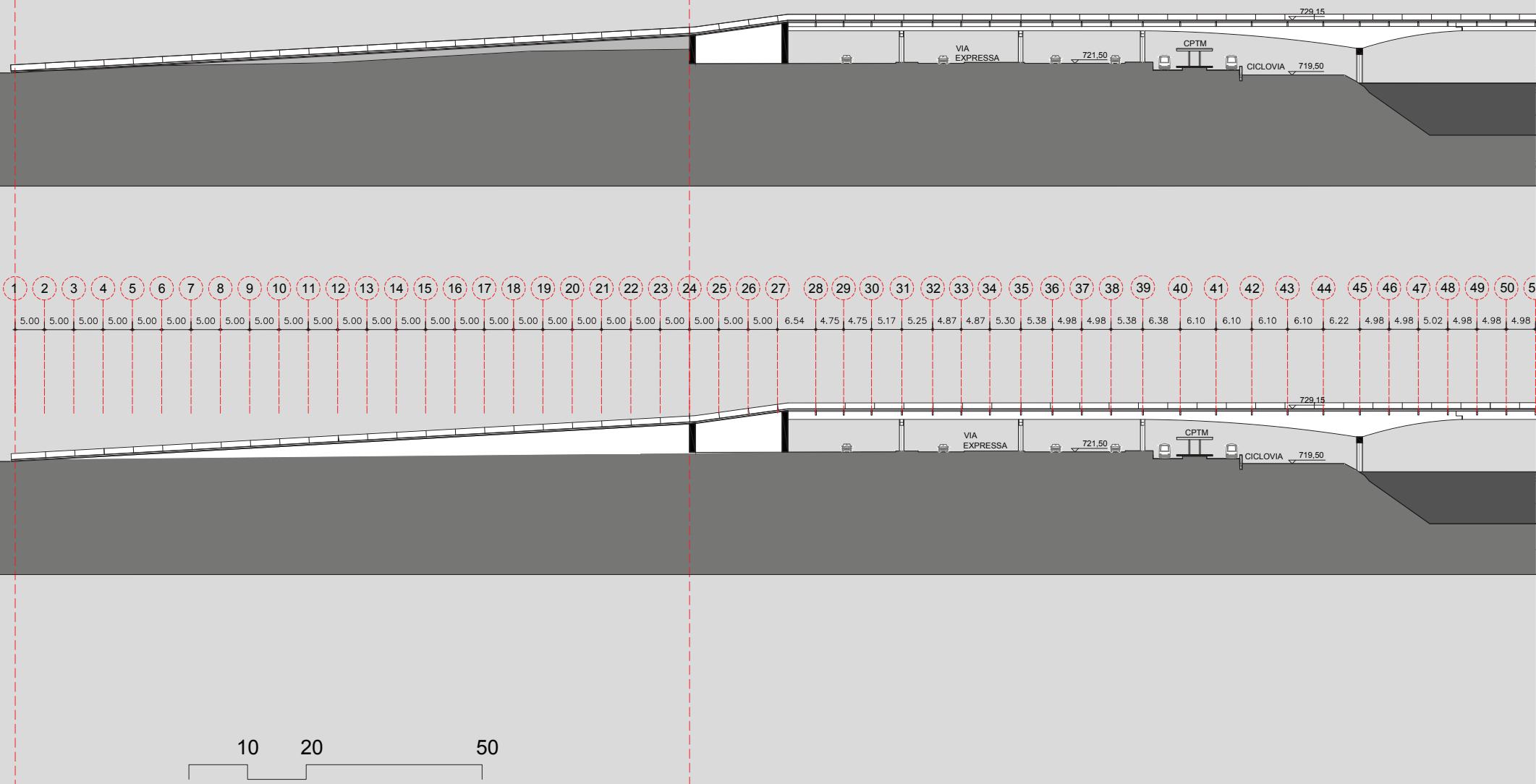
TRECHO SOBRE O RIO

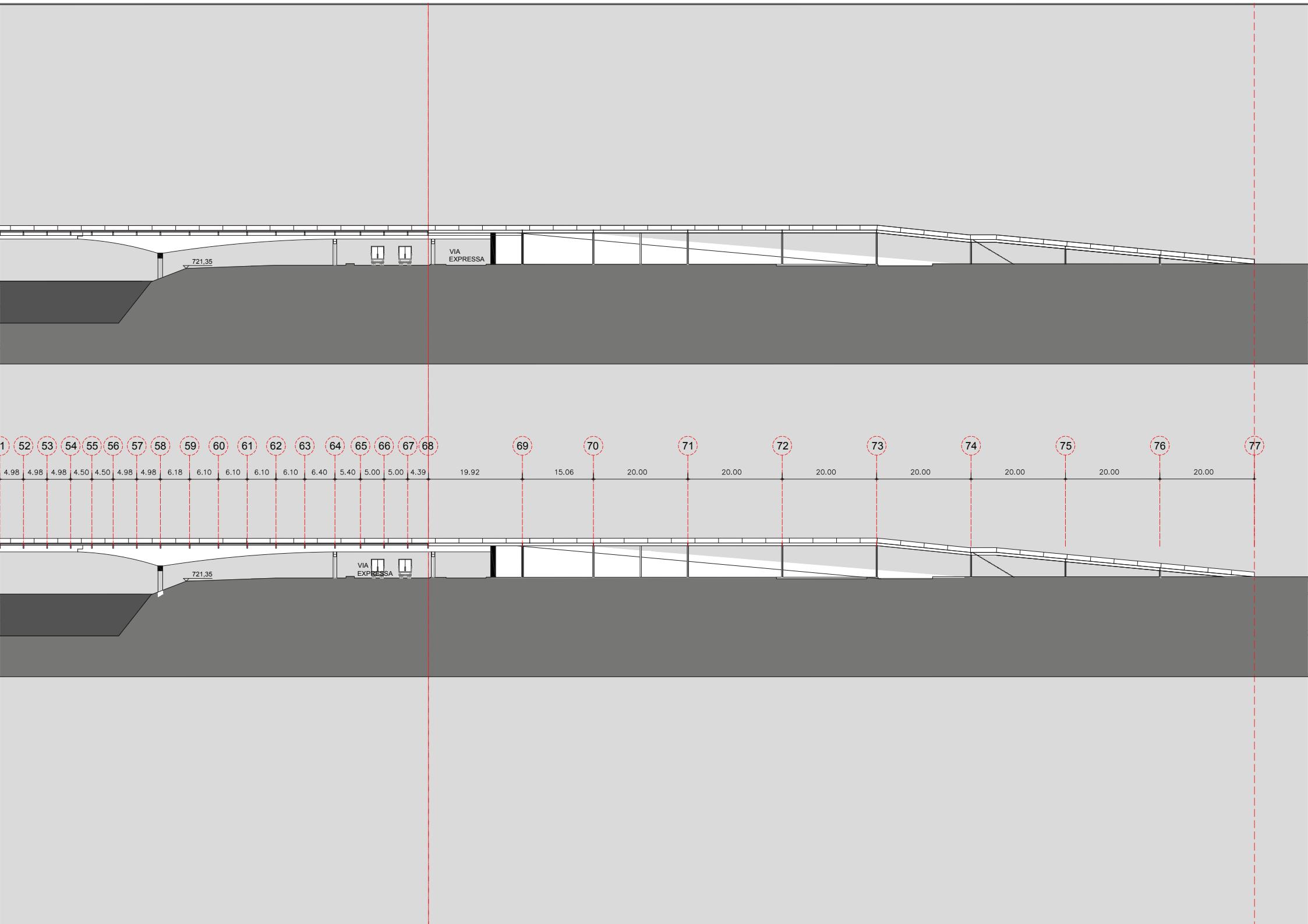
CHEGADA BUTANTÃ

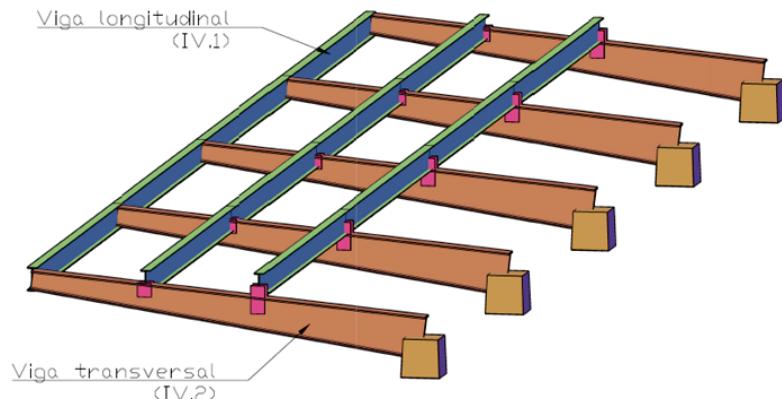
175m

ACESSO USP









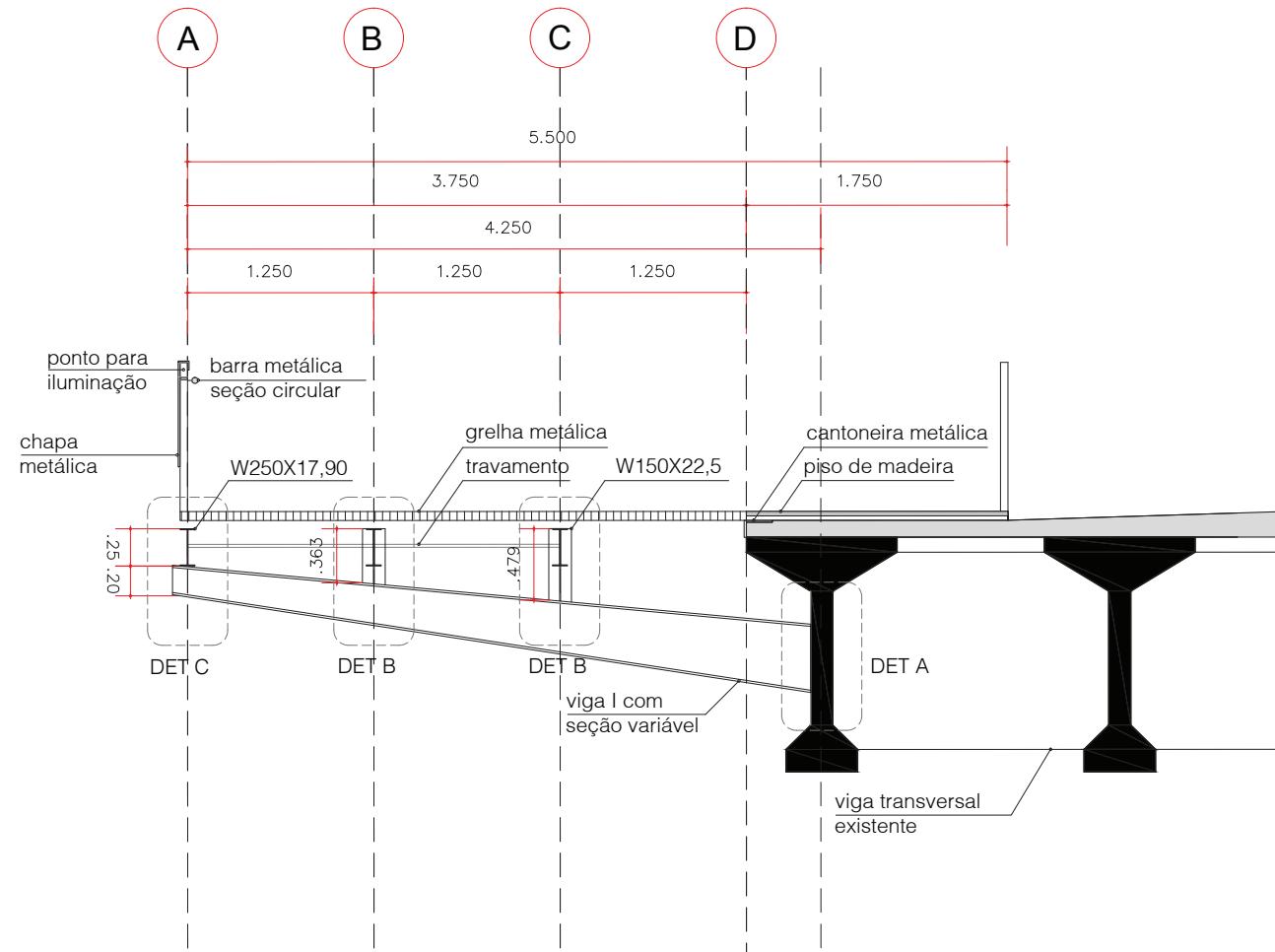
Trecho anexo à ponte

C. TRECHO SOBRE A PONTE

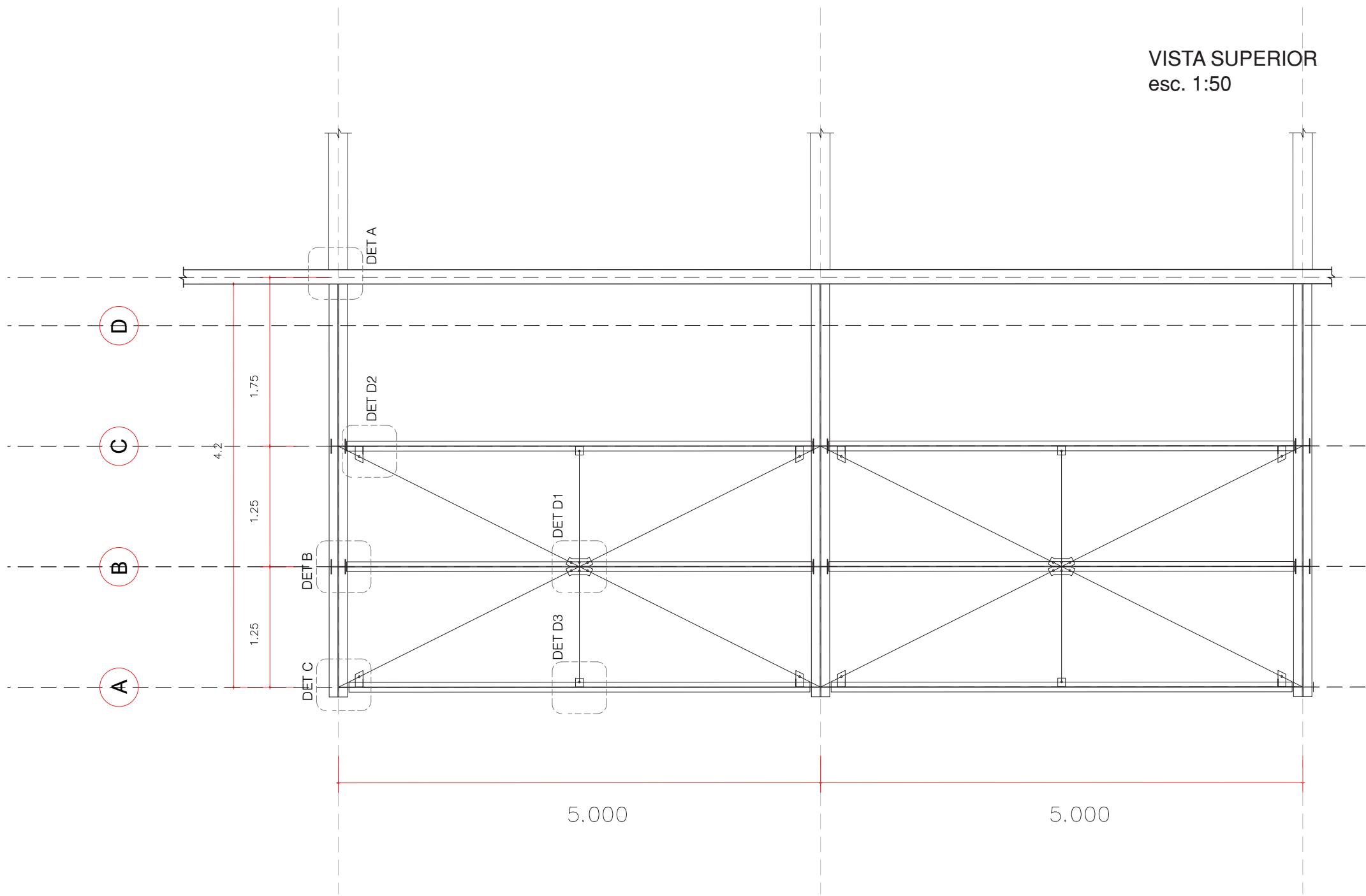
O trecho sobre a ponte respeita a ponte existente. Aproveitamos as transversinas (viga transversal de concreto armado) da ponte existente. A largura de 3,75m adicionada à ponte anexa garante uma travessia mais qualificada tanto para pedestres quanto ciclistas. Com uma operação mínima, o engaste de uma estrutura metálica numa estrutura existente, pode-se ter uma grande mudança. Para simplificarmos o projeto adotamos um módulo típico de 5,00m. A viga engastada tem uma seção variável que chega na extremidade do vão com somente 15cm. Sobre ela serão apoiadas 3 vigas longitudinais com apoios simples e travamentos, essas vigas por sua vez recebem grelhas metálicas que dão certa leveza à ponte e que tem peso próprio baixo quando comparado com o concreto, por exemplo, alguém que estiver passando, eventualmente pode olhar para baixo e ver o rio Pinheiros passar.

CORTE TRANSVERSAL

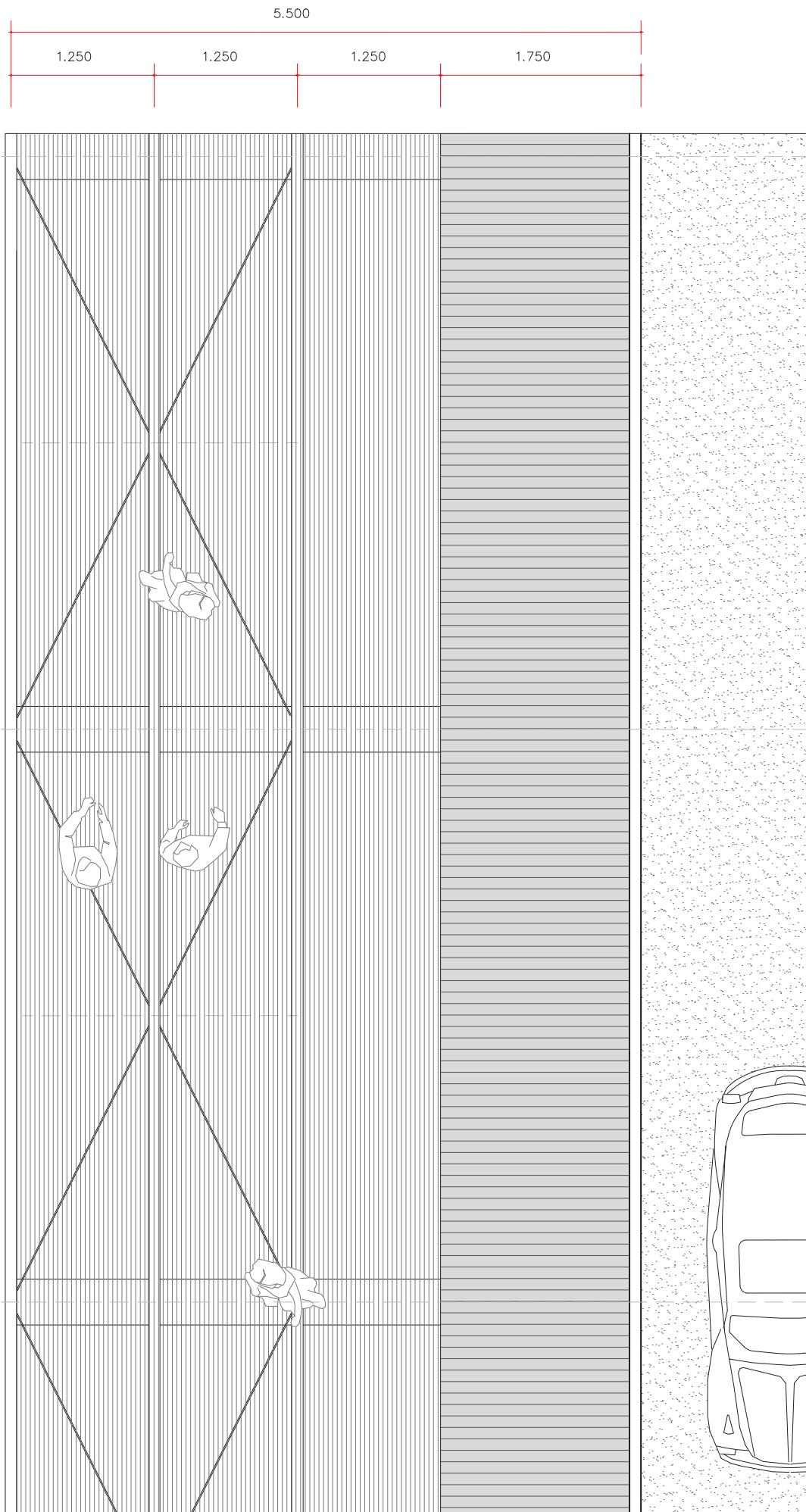
esc. 1:50



VISTA SUPERIOR
esc. 1:50



VISTA SUPERIOR
esc. 1:50



CORTE TRANSVERSAL

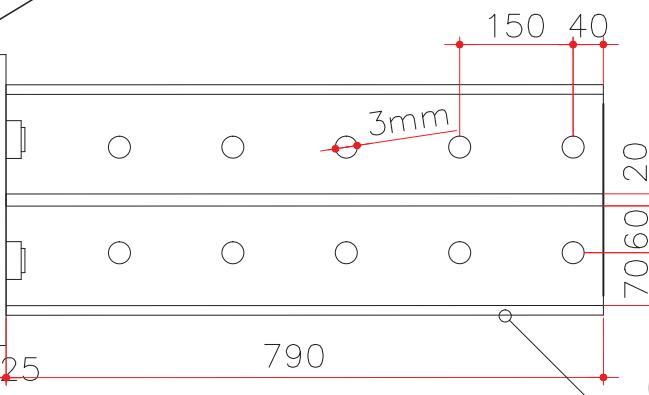
DET A
1:10

viga longitudinal
ponte existente

A
>

viga I com
seção variável

viga transversal
de concreto da ponte existente
(e=200mm)



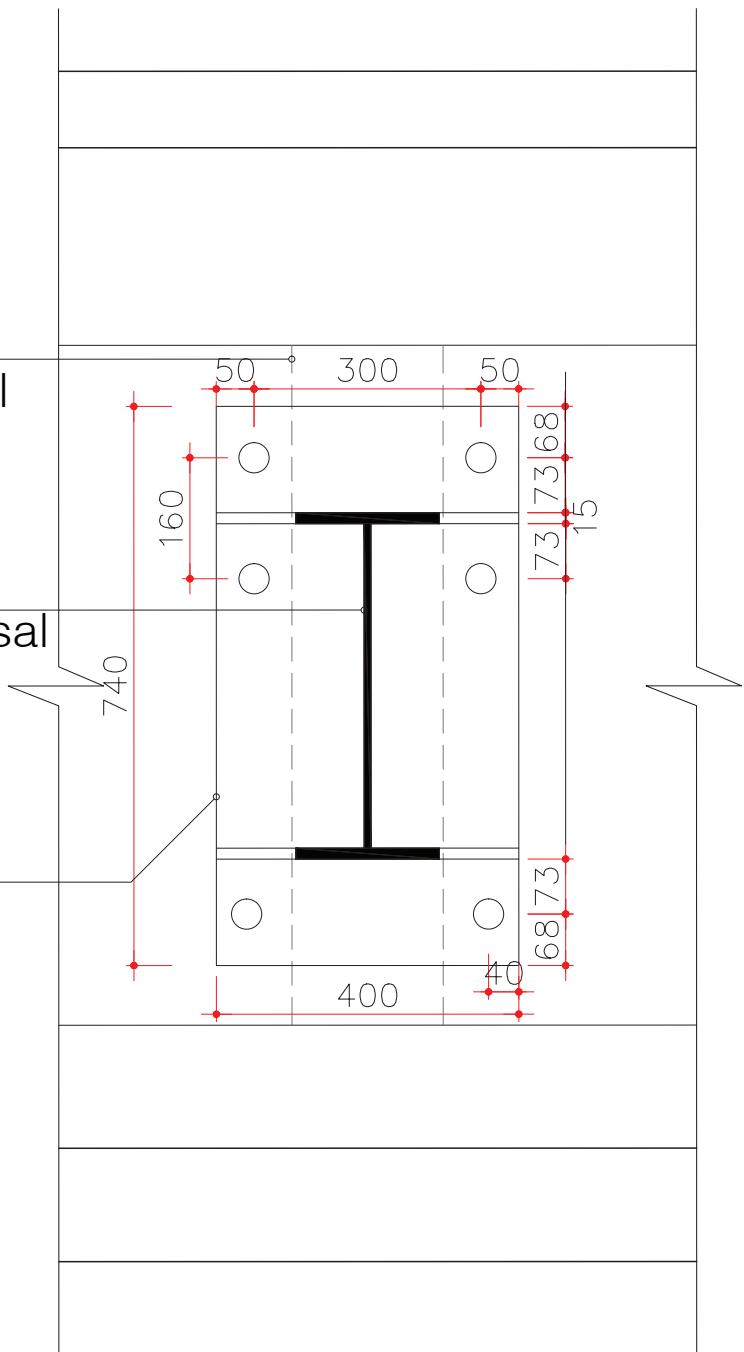
DET A
1:10

VISTA A

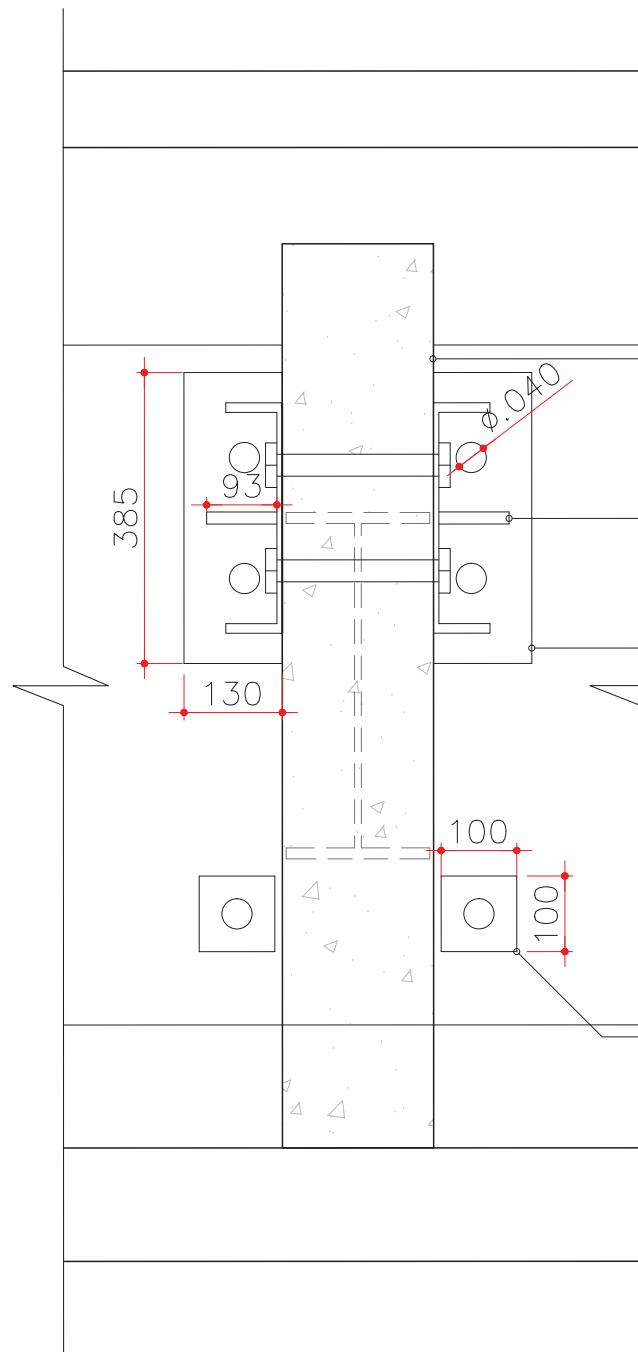
projeção
viga transversal
existente

viga
seção transversal
variável

chapa
(740x400x25)



VISTA B



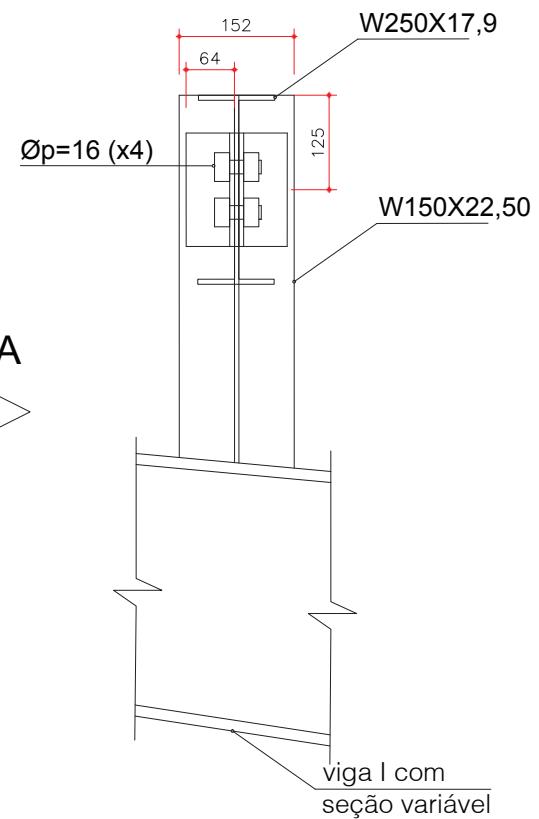
viga transversal
ponte existente

chapa
(790x93x16)

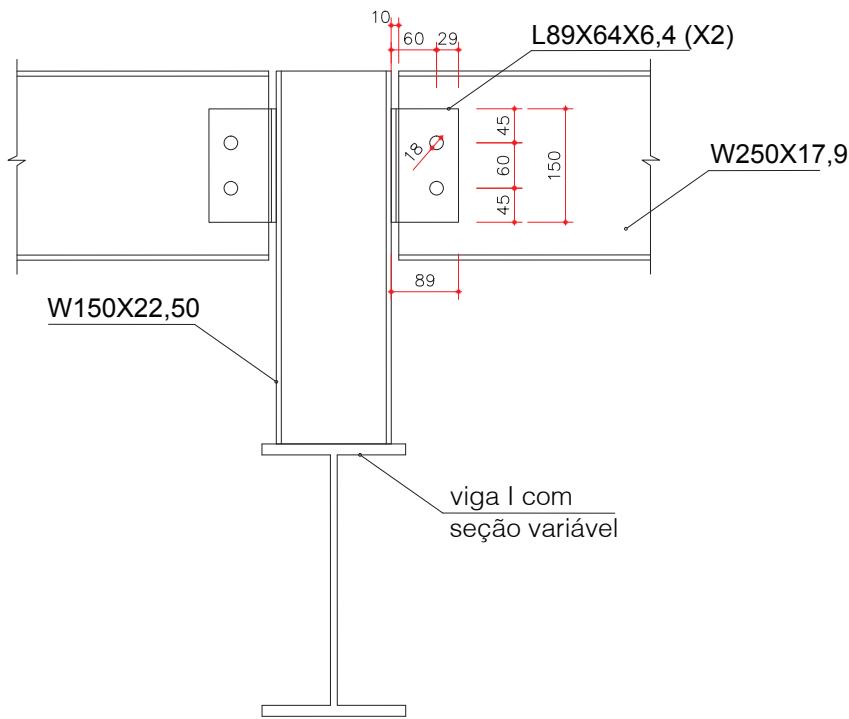
chapa
(385x130x25)

chapa
(100x100x25)

CORTE TRANSVERSAL

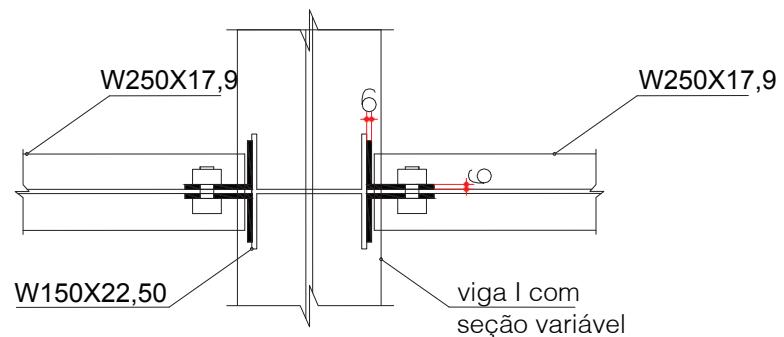


VISTA A



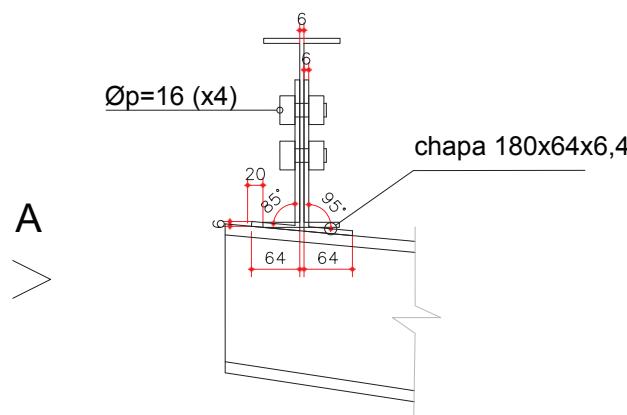
DET B
1:10

VISTA SUPERIOR



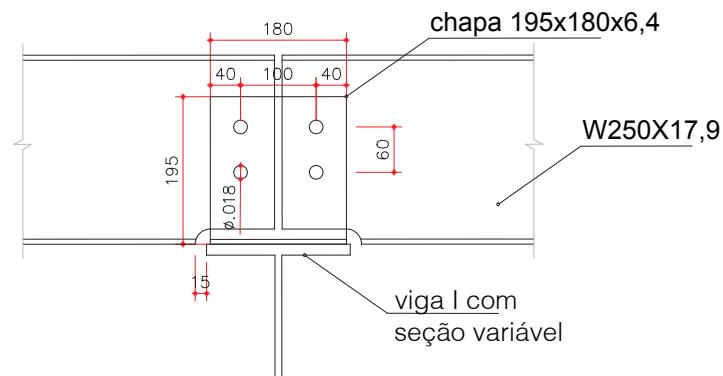
DET C
1:10

CORTE TRANSVERSAL

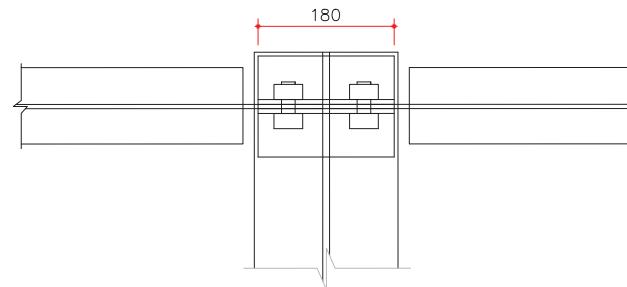


A
V

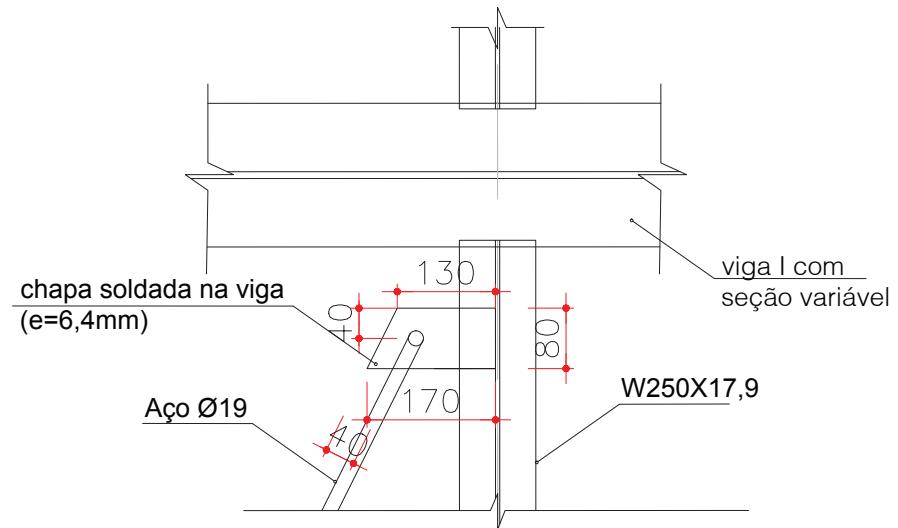
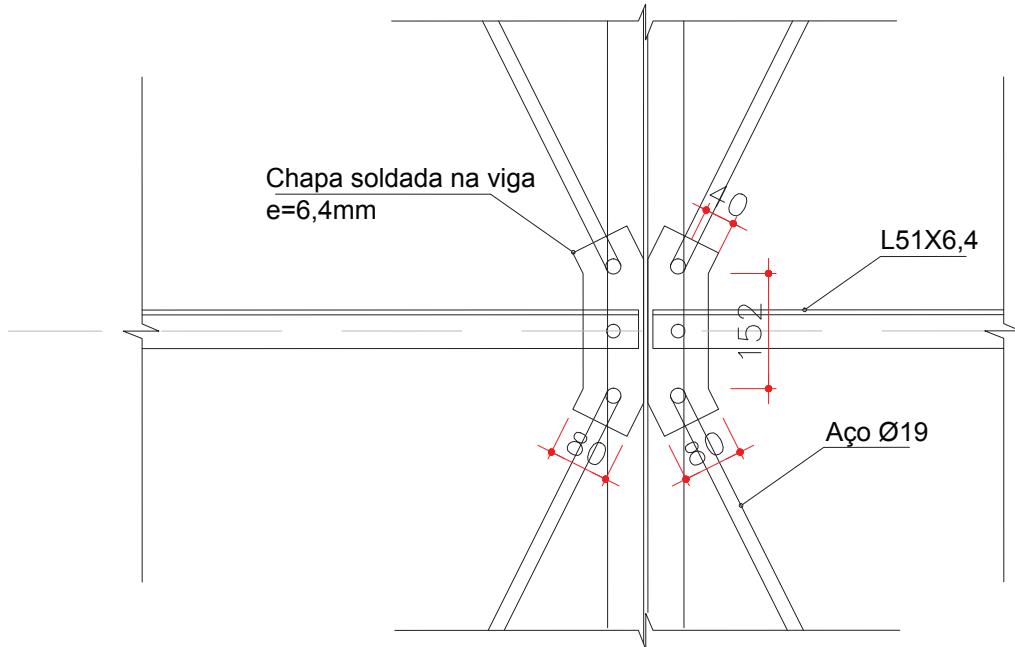
VISTA A



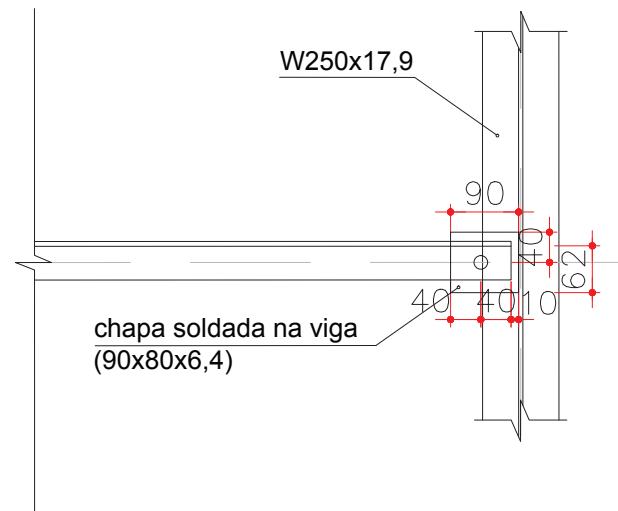
VISTA SUPERIOR

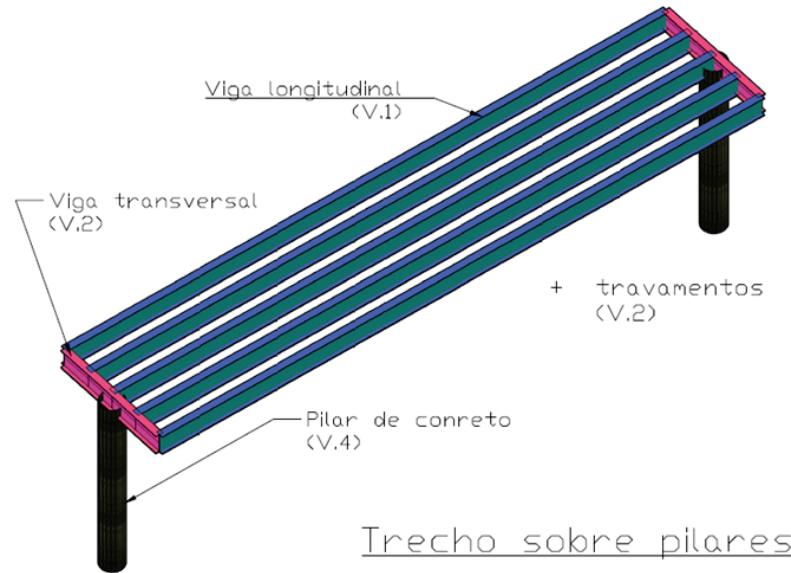


TRAVAMENTOS



TRAVAMENTOS

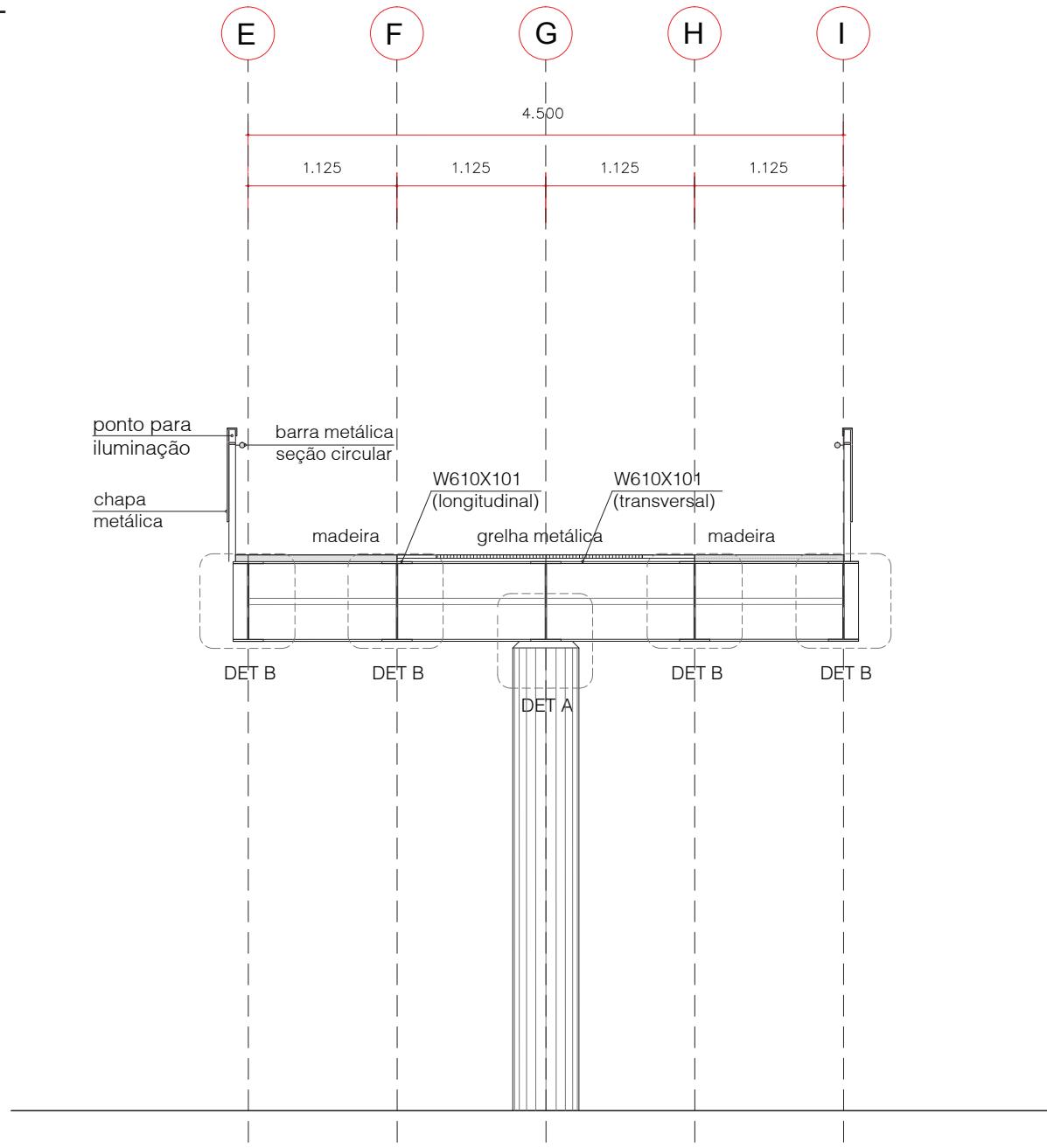




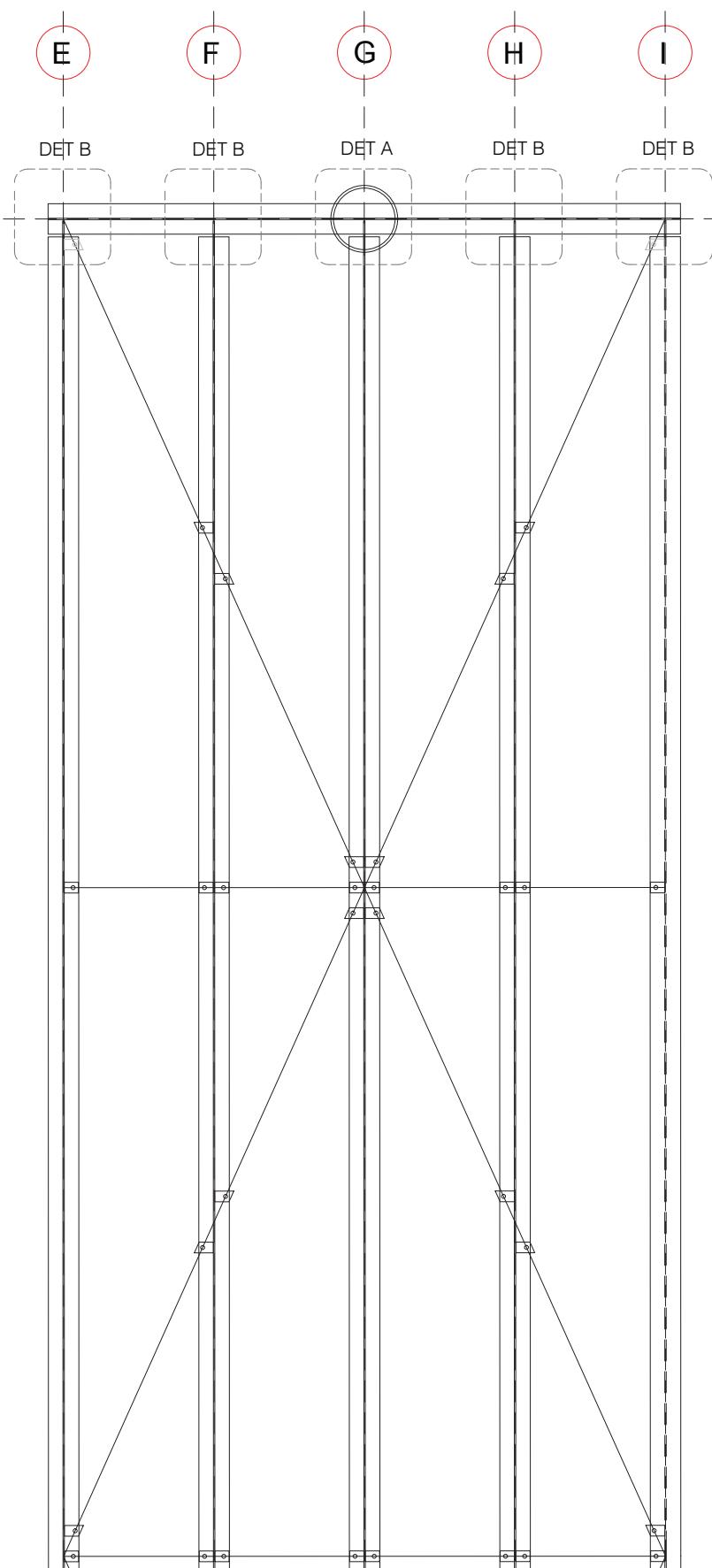
D. CHEGADA NA USP

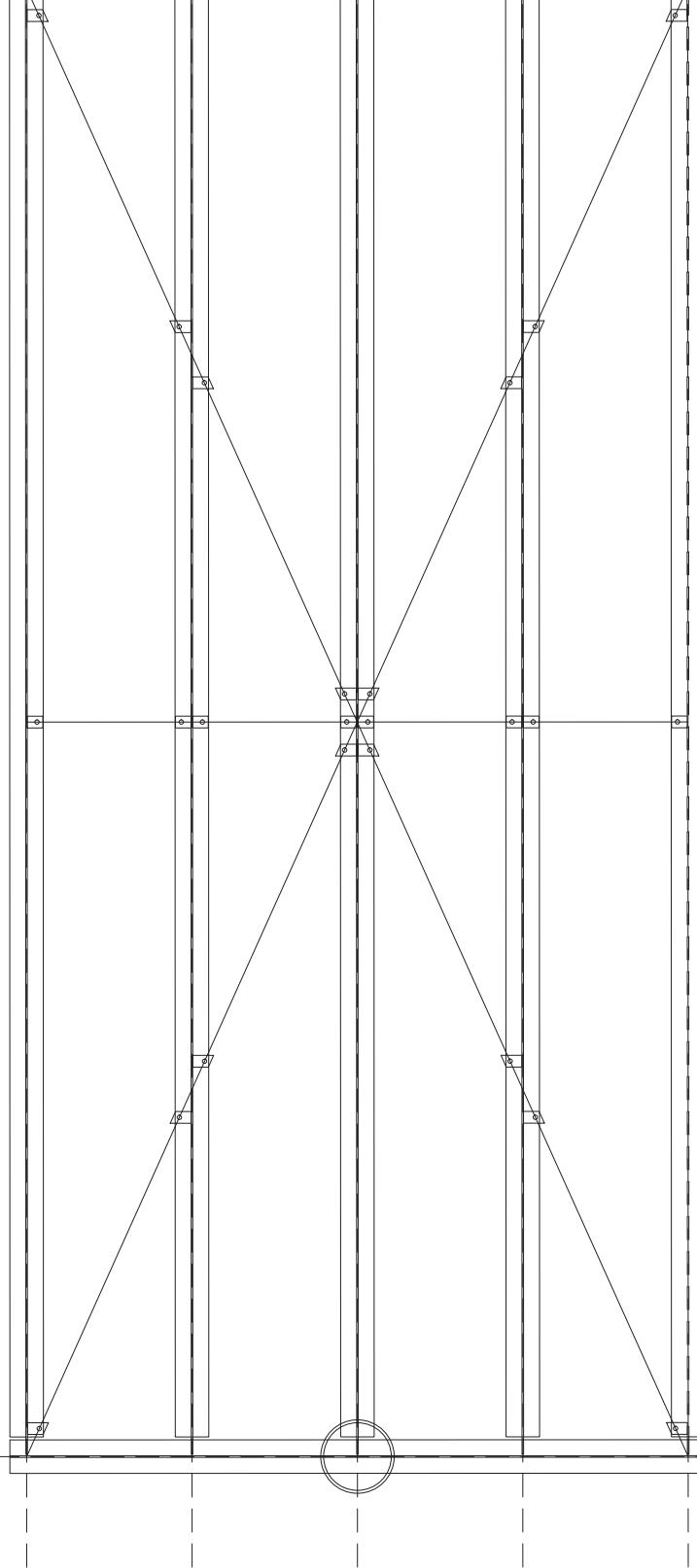
Nesse trecho a passarela se descola da ponte existente e ganha mais autonomia. Agora tem-se mais liberdade para determinar o vão entre pilares com a preocupação de respeitar a largura das faixas de carros existente. Diferentemente do trecho do lado da praça Panamericana optou-se por não intervir nas alças, elas não serão locais de permanência, mas sim lugares transitórios, de passagem. A passarela passa elevada sobre esses espaços para pousar na USP por meio de uma rampa, ou uma escada pode ser usada para quem não está indo até a USP. A passarela nesse trecho tem 4,70m de largura com um vão de 20m vencido por 5 longarinas metálicas engastadas em pilares de concreto.

CORTE TRANSVERSAL
esc. 1:50

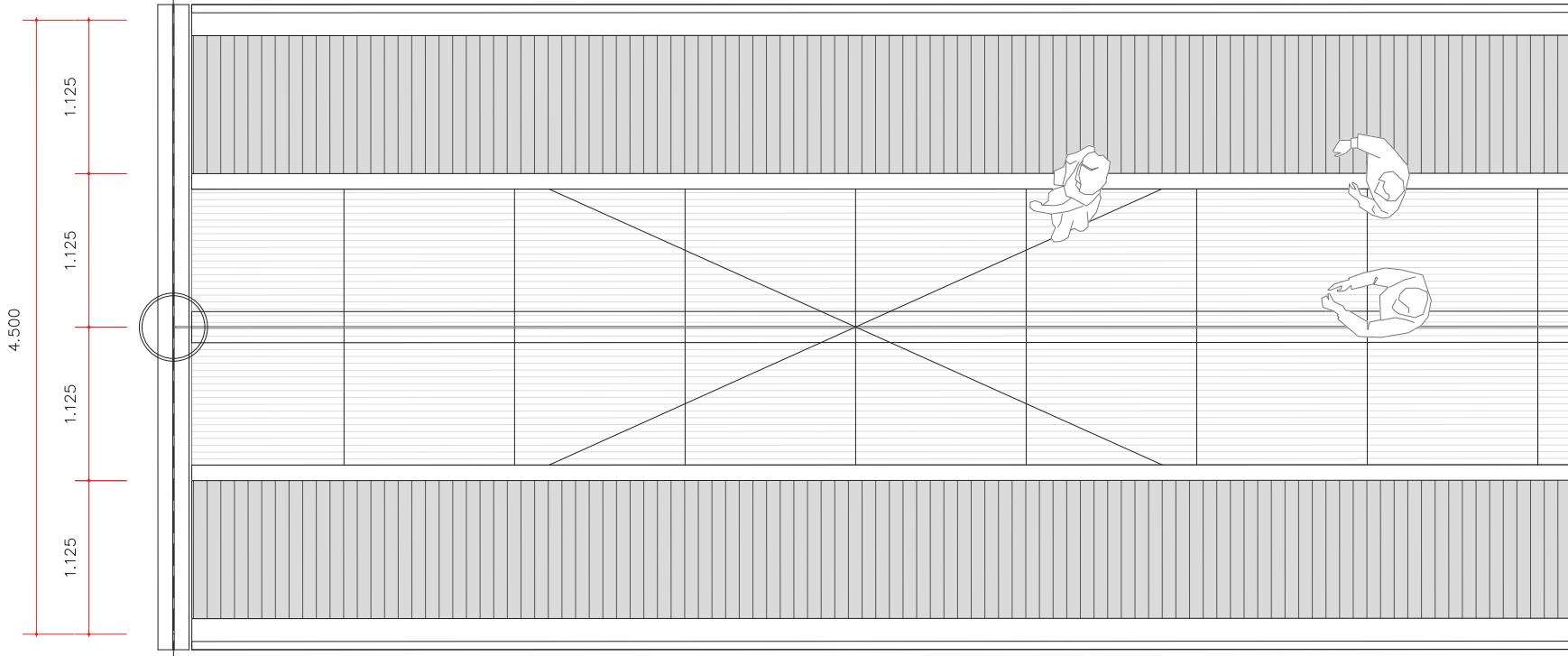


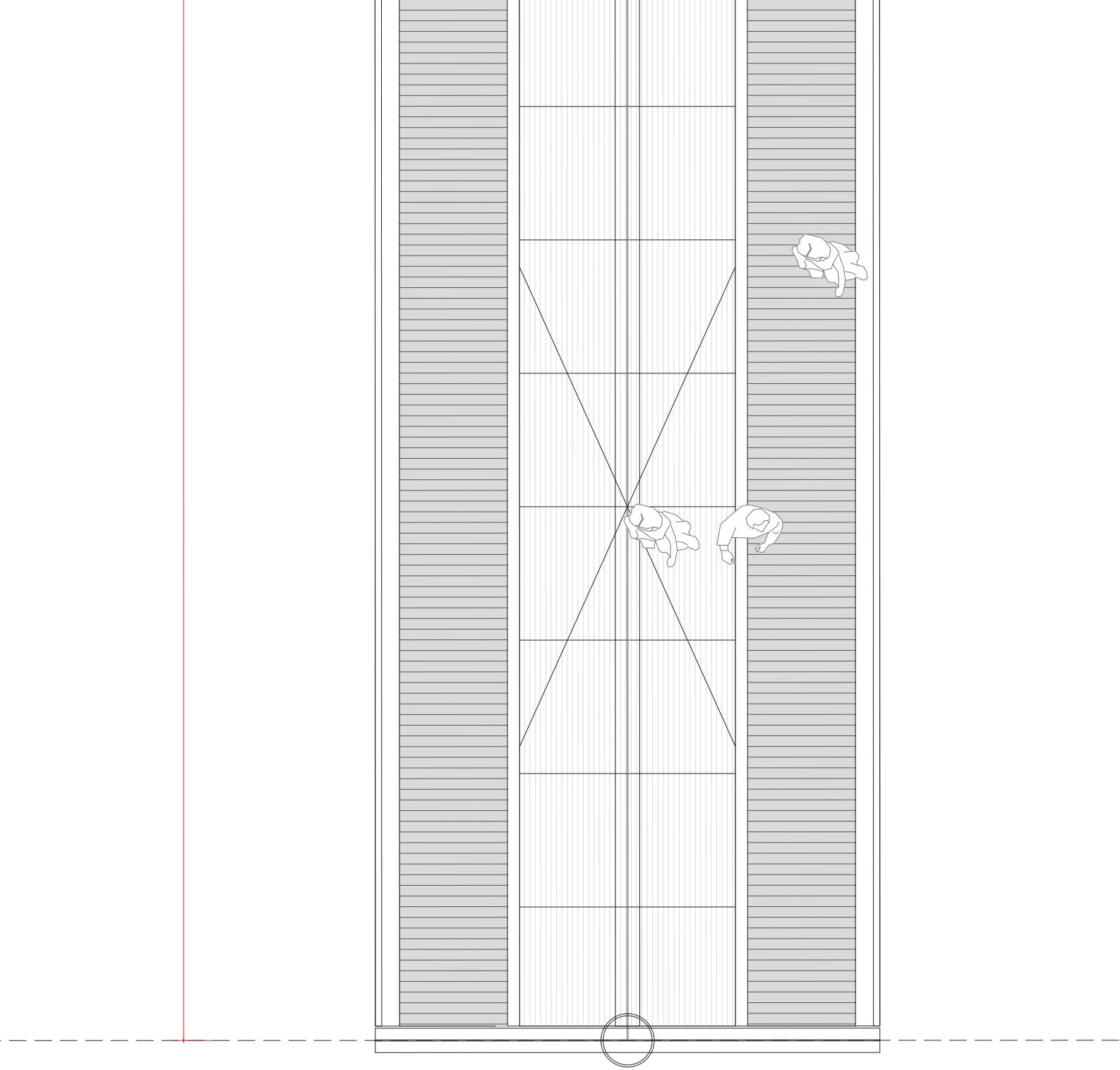
VISTA SUPERIOR
ESTRUTURA
esc. 1:50



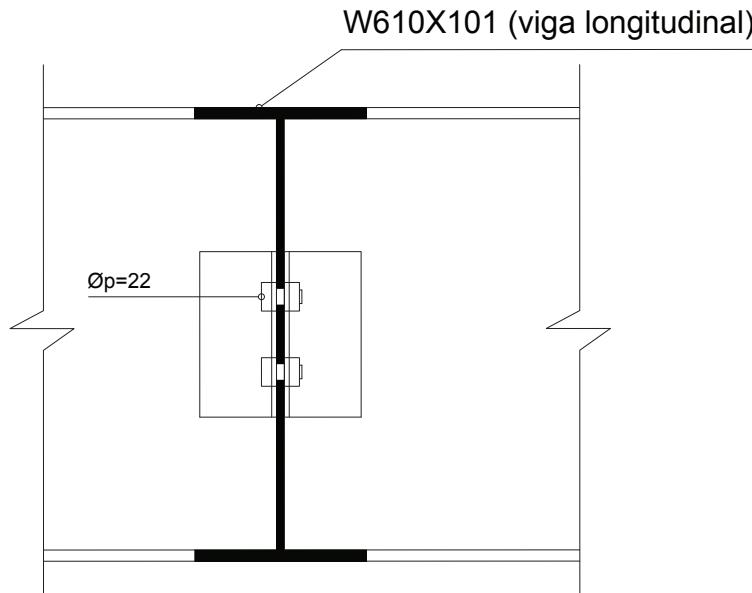


VISTA SUPERIOR
esc. 1:50

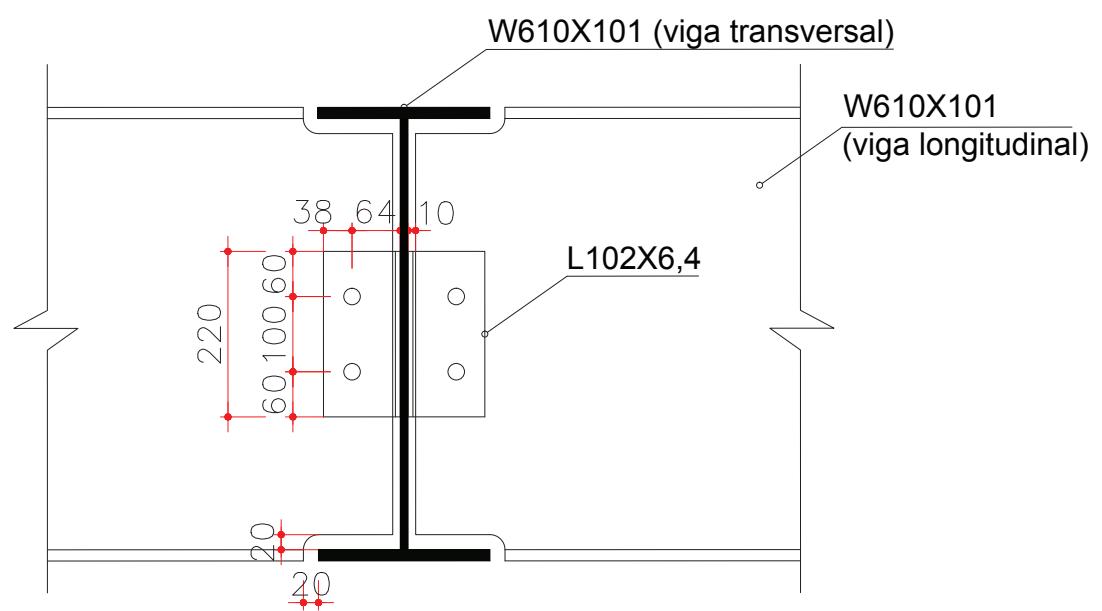




SEÇÃO TRANSVERSAL

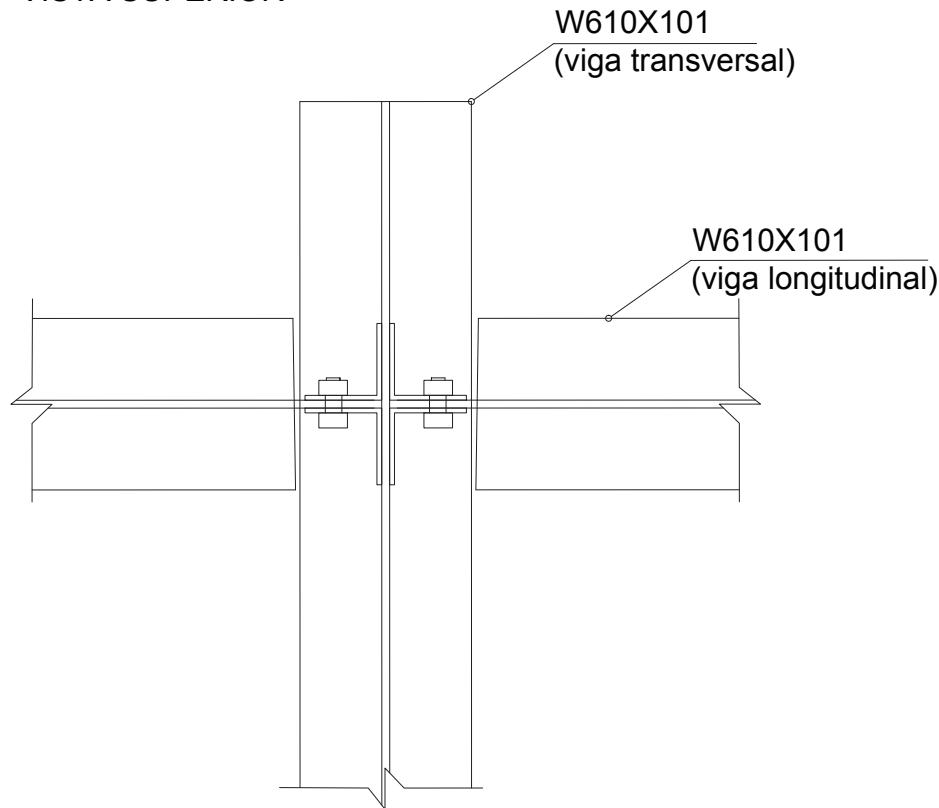


SEÇÃO LONGITUDINAL



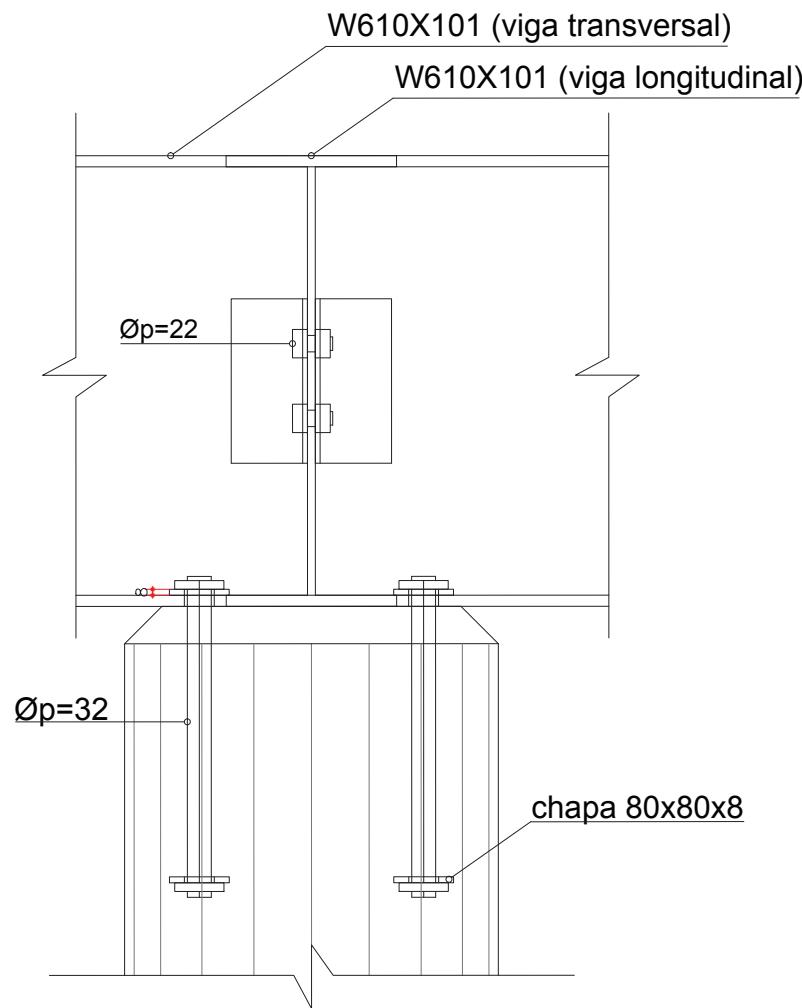
DET B
1:10

VISTA SUPERIOR

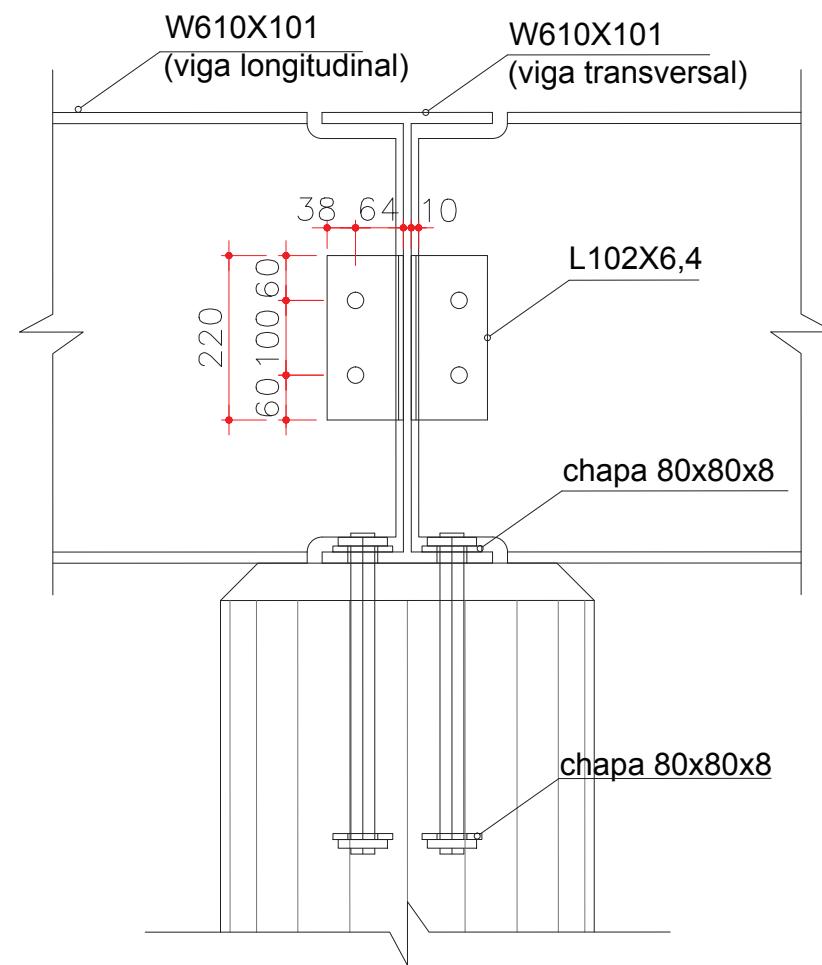


DET A
1:10

SEÇÃO TRANSVERSAL



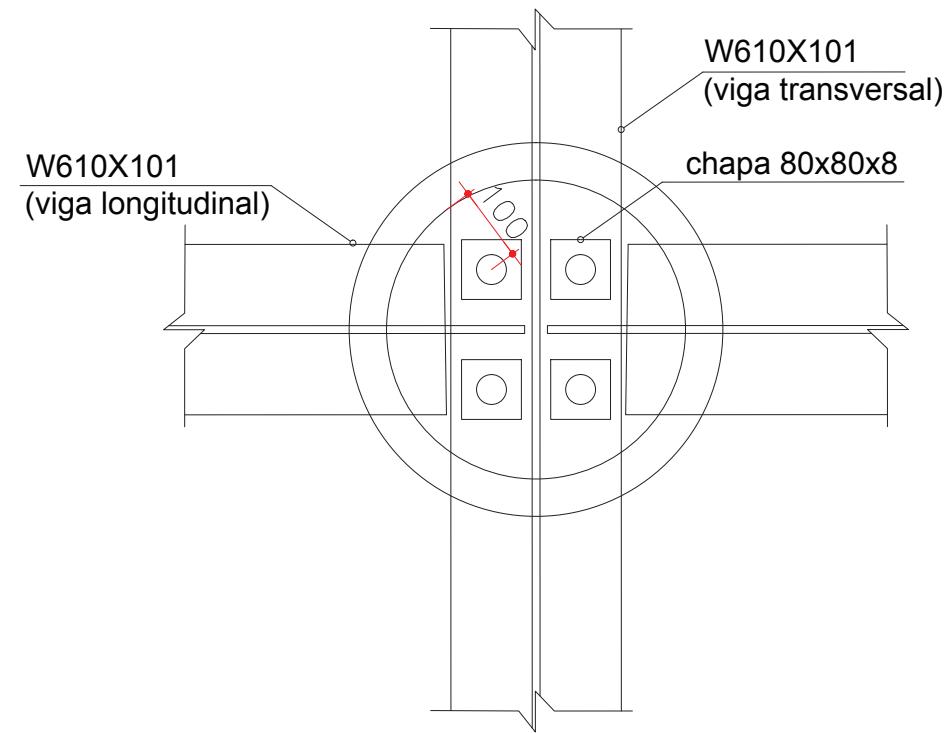
SEÇÃO LONGITUDINAL

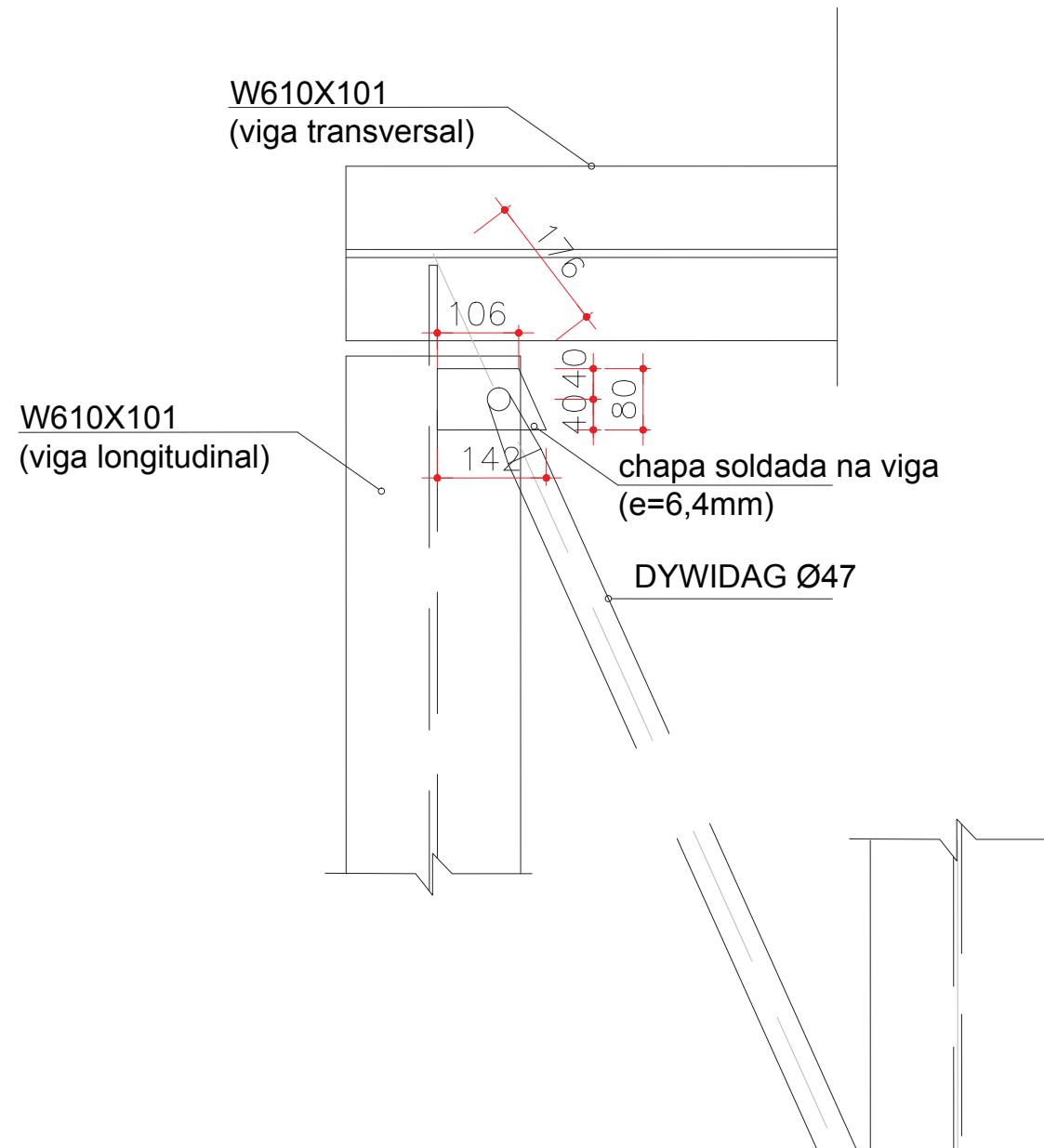


DET A

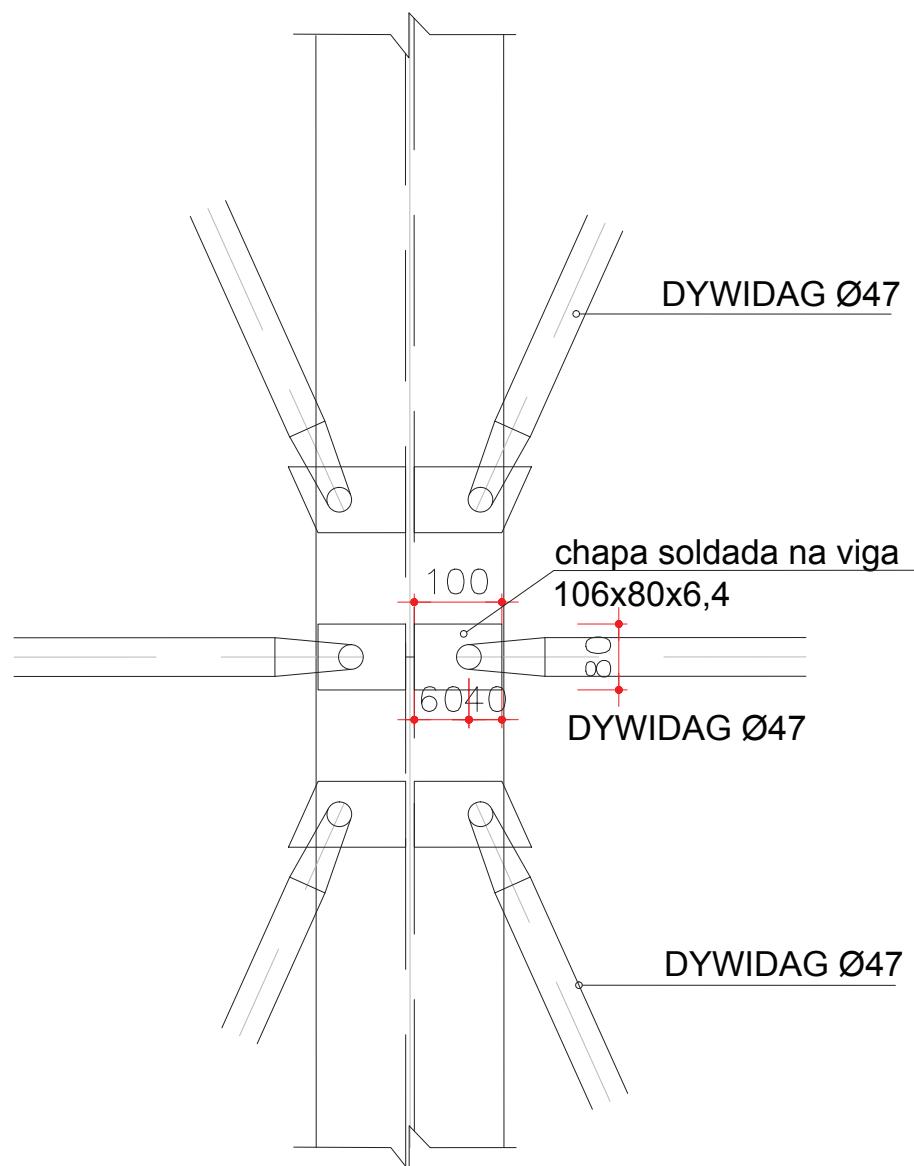
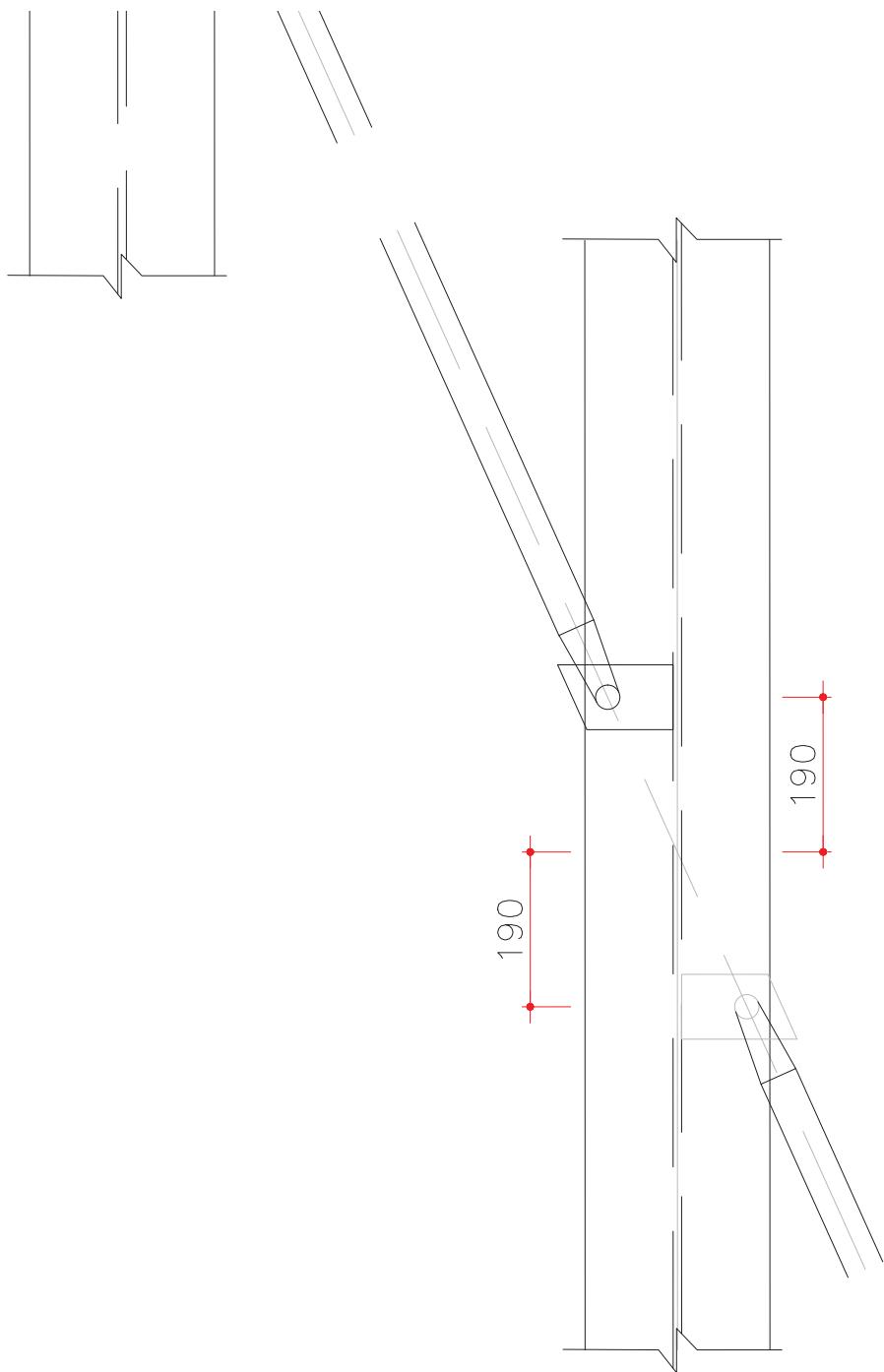
1:10

VISTA SUPERIOR



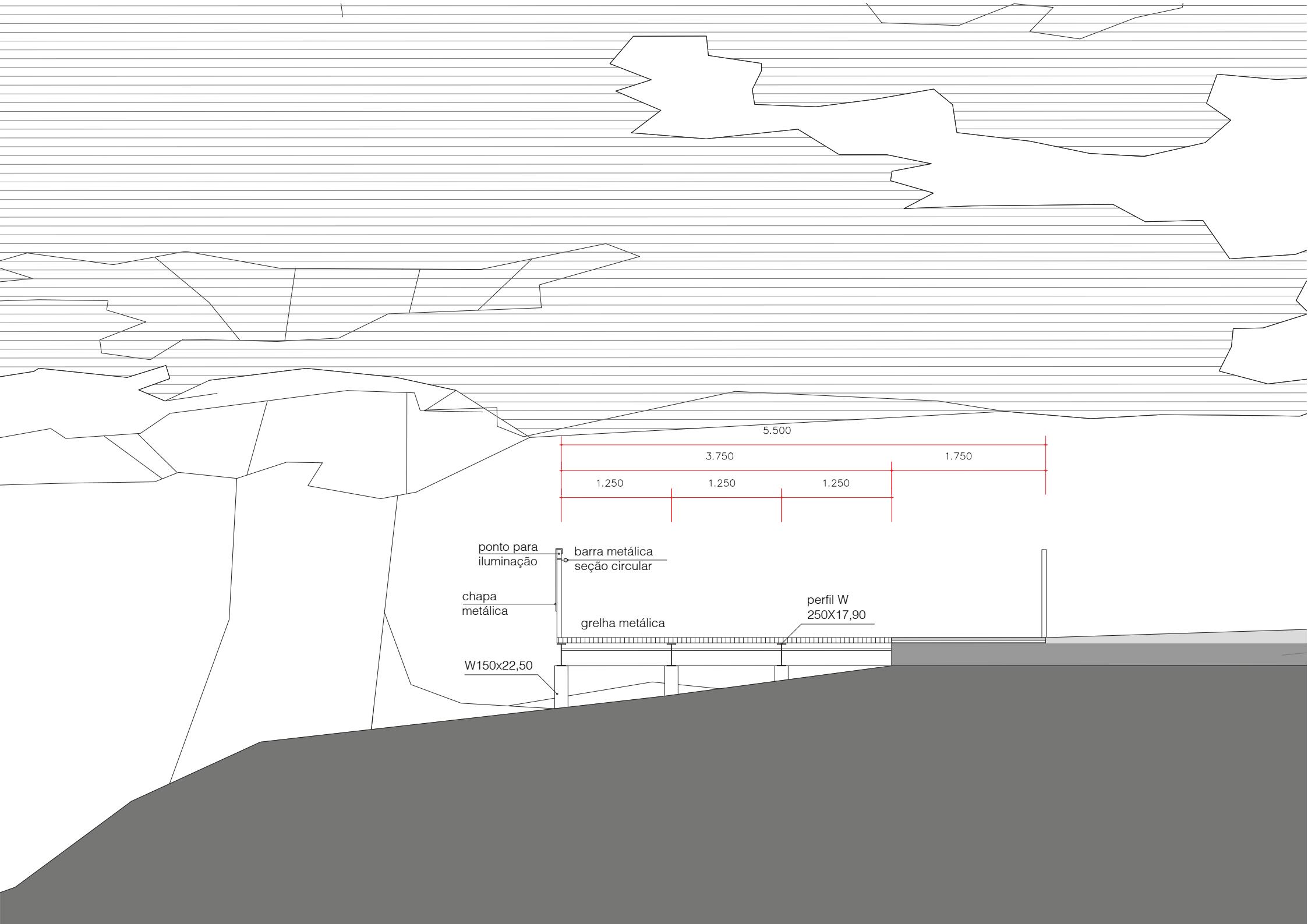


TRAVAMENTOS



E. CHEGADA PANAMERICANA

A chegada no lado da praça Panamericana é marcada pelas grandes árvores e suas raízes que se estendem por grande parte do terreno em que chega a passarela. Essa chegada é relativamente mais simples do que as outras em termos de vãos e solicitações. Não é necessário vencer nenhum grande vão ou criar grandes estruturas. Ela pode ser apoiada diretamente sobre a praça de chegada, com o cuidado de deixar o espaço livre entre as raízes das árvores. O fato de a passarela ser feita de grelha contribui para reduzir esse impacto. Pois a água da chuva pode escoar pela grelha e chegar até as raízes da árvores. Seus detalhes poderiam ser semelhantes ao trecho sobre a ponte com vãos de cerca de 5m.



IV. CONCLUSÃO

Comparando o que obtemos nesse fim de ano com o que tínhamos projetado no primeiro semestre, podemos falar que o nosso projeto evoluiu bastante nessa segunda parte do ano. Fomos até o dimensionamento básico da estrutura, detalhando cada trecho da ponte como estávamos pensando em fazer, e temos que admitir que a construção em si mudou bastante, e isso se deve a muitos fatores dentre os quais, orientação com os professores e o tempo que nos tomou o projeto. Passamos de uma passarela quase independente composta de um arco unindo as margens do Rio, para uma estrutura mais leve, econômica e inteligente.

Tentamos desenvolver a integração com a malha urbana na duas extremidades da forma mais completa possível, evitando pensar a ponte apenas como um objeto a ser simplesmente dimensionado. Procuramos adaptar e viabilizar zonas perigosas para pedestres e os ciclistas de uma manera simples, sem deslocar vias da marginal ou suprimir acessos e saídas até ela.

Além desses aspectos técnicos, aprendemos bastante pesquisando sobre temas atuais e polêmicos da cidade. Por fim, nesse trabalho misturamos disciplinas diferentes que estudamos na Civil e na FAU, valorizando os ensinamentos que recebemos nas duas faculdades e procurando visões que tivessem significado no contexto do projeto em que estávamos trabalhando.

V. BIBLIOGRAFIA

FRANCO, Fernando de Mello. A construção do caminho: a estruturação da metrópole pela conformação técnica das várzeas e planícies fluviais da bacia de São Paulo. Tese (doutorado) - FAU-USP. 2005

HEIDEGGER, Martin, Construir, Habitar, Pensar

Vasconcelos, Augusto. Pontes Brasileiras: Viadutos e Passarelas Notáveis. São Paulo: PINI, 2012

<http://www.ciclocidade.org.br/component/tags/tag/29-pontes>

<http://www.hypeness.com.br/2014/09/15-inovadoras-solucoes-pensadas-para-privilegiar-o-ciclista/>

<http://noticias.band.uol.com.br/cidades/noticia/100000710168/sp-apesar-de-populares-ciclovias-sao-alvo-de-criticas-e-protestos.html>

Trabalho de Formatura II

ADAPTAÇÃO DA PONTE CIDADE-UNIVERSITÁRIA

Memória de cálculo

Pré-dimensionamento dos elementos estruturais da passarela

Alunos :

Mathilde Rousseaux - Escola Politécnica, Civil
Pedro Akio Hasse - FAU, Arquitetura e Urbanismo
Philippe Hannequart - Escola Politécnica, Civil
Roch de Hédouville - Escola Politécnica, Civil

Professor orientador :

Júlio Fruchtengarten

Banca de avaliação :

Eduardo de Moraes Barreto Campello
Henrique Lindenberg Neto

Dezembro 2014

Introdução

Essa memória de cálculo apresenta as análises e os cálculos estruturais referentes ao dimensionamento da travessia sobre o Rio Pinheiros, ao lado da ponte Cidade-Universitária. Esses resultados foram utilizados para a elaboração do projeto básico, um dos nossos objetivos sendo o estudo da viabilidade desse projeto. Numa primeira parte, apresentamos os dois tipos de estruturas adotados para os dois trechos considerados, e as restrições do projeto, principalmente geométricas. A segunda parte trata das ações e combinações de ações consideradas. Na terceira parte escolhemos os materiais de construção e adotamos os parâmetros mecânicos. Nas duas últimas partes apresentamos os cálculos de dimensionamento do trecho anexo à ponte, e do trecho sobre pilares.

Sumário

Introdução.....	3
Sumário.....	3
I) Tipologias estruturais e restrições geométricas do projeto.....	4
I.1) Trecho A: características e restrições	4
I.2) Trecho B: características e restrições	4
II) Ações e combinações de ações consideradas.....	5
II.1) Peso próprio e sobrecargas	5
II.2) Ação do vento.....	5
III) Materiais utilizados, parâmetros mecânicos dos materiais.....	7
IV) Dimensionamento do trecho anexo à ponte existente.....	8
IV.1) Dimensionamento das vigas longitudinais.....	8
IV.2) Dimensionamento da viga console	12
V) Dimensionamento do trecho sobre pilares, do lado da USP	16
V.1) Dimensionamento das vigas longitudinais.....	16
V.2) Dimensionamento das vigas transversais (sobre os pilares).....	20
V.3) Dimensionamento dos travamentos e contraventamentos	24
V.4) Dimensionamento dos pilares de concreto (flexo-compressão)	26

I) Tipologias estruturais e restrições geométricas do projeto

O projeto da passarela em si basicamente apresenta dois trechos estruturalmente diferentes. O trecho que chamaremos de A é o trecho onde decidimos apoiar a nossa estrutura nas vigas de concreto da ponte existente (transversinas). O trecho que chamaremos de B é o trecho onde a nossa passarela se afasta da ponte existente para continuar em linha reta até a entrada na USP.

I.1) Trecho A: características e restrições

No trecho A, aproveita-se as transversinas (vistas transversais de concreto armado) da ponte existente. Desse jeito, não precisa furar as longarinas (vistas longitudinais) da ponte existente. Simplesmente precisa engastar uma viga de aço na extremidade das transversinas. Chamamos essa viga de viga console, porque ela vai trabalhar em balanço. A ponte existente tem vários trechos estruturalmente diferentes, mas para simplificar os cálculos consideramos o espaçamento típico entre transversinas de 5,0m. Portanto, a passarela será apoiada nas vigas console a cada 5,0m: entre cada viga console, apoiamos 3 vigas longitudinais (com apoios simples) de 5,0m de comprimento, travadas no meio para reduzir a instabilidade lateral de torção. Para aproveitar a ponte existente e jogar uma carga menor nas vigas console, vamos executar um perfil cantoneira na borda do concreto existente: além de proteger o canto de concreto contra o esmagamento, conseguimos apoiar o revestimento da passarela sobre essa cantoneira. Para vãos superiores a 5,0m, terá que fazer um dimensionamento específico, igual ao nosso dimensionamento para 5,0m de vão.

Como já especificado no relatório, a largura de passarela adotada para poder executar as duas faixas é de 5,50m. Nesses 5,50m já aproveitamos a calçada existente da ponte (1,75m de largura), então a largura adicional é 3,75m.

I.2) Trecho B: características e restrições

No trecho B, a nossa passarela é independente da ponte existente. Ela é apoiada sobre pilares circulares de concreto engastados no solo. O vão entre pilares é de 20,0m, para atravessar a alça de acesso à Marginal Pinheiros. Cada pilar é o apoio de uma viga de aço transversal, e 5 vigas longitudinais se apoiam (apoios simples) sobre essa viga transversal. A altura dos pilares de concreto é variável, mas vamos dimensionar o pilar da situação mais desfavorável: o pilar será dimensionado a flexo-compressão, então a situação mais desfavorável acontece no pilar de maior altura (6,20m no encontro com o trecho A) quando toda a sobrecarga estiver concentrada de um lado só da passarela.

Como já especificado no relatório, a largura da passarela adotada no trecho B é de 4,50m.

II) Ações e combinações de ações consideradas

II.1) Peso próprio e sobrecargas

O peso próprio da estrutura será determinado pela massa linear dos perfis de aço empregados, indicada nas tabelas de perfis.

A sobrecarga devida aos pedestres e às bicicletas é 5,0 kN/m² nas áreas onde pedestres e ciclistas podem permanecer.

Essa passarela sendo uma estrutura leve com ações pequenas (as ações variáveis de sobrecarga não superam 5,0 kN/m²), a maioria das peças de aço foram dimensionadas pelo ELS (estado limite de serviço), calculando a flecha das vigas de aço. Para esses cálculos, utilizamos para os esforços solicitantes a combinação frequente de serviço:

$$p_{ELS} = 1,0 * p_g + 0,4 * p_q$$

Com p_g : ação devida ao peso próprio
 p_q : ação devida à sobrecarga (ação variável)

As peças foram verificadas pelo ELU (estado limite último), usando um coeficiente de 1,4 para as ações, ou seja, a combinação de ações seguinte:

$$p_{ELU} = 1,4 * p_g + 1,4 * p_q$$

O coeficiente de segurança adotado para a resistência ao escoamento do aço é: $\gamma_s = 1,1$

II.2) Ação do vento

No trecho A, não foi considerada a ação do vento, porque essa ação será principalmente transversal, e na direção transversal podemos considerar que a ponte de concreto existente constitui um travamento infinitamente rígido para absorver esforços horizontais. A nossa estrutura não apresenta uma grande superfície exposta ao vento horizontal, então não seria muito relevante calcular ações horizontais na estrutura, devidas ao vento no trecho A. O que precisaria fazer seria um estudo aerodinâmico para saber se, por exemplo, o vento horizontal poderia provocar um efeito de levantamento da estrutura. Mas esse estudo é fora do escopo desse trabalho. Porém, no trecho B é relevante calcular os efeitos do vento, com a norma *NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações*.

Em São Paulo, a velocidade básica do vento é $V_0 = 40m/s$. Admitimos um fator topográfico $S_1 = 1,0$ porque a estrutura não está no topo do talude (nesse caso, o fator S_1 seria maior do que 1,0). Para determinar o fator S_2 , correspondente à rugosidade do terreno, à altura sobre o terreno, e às dimensões da edificação, consideramos uma rugosidade de terreno de Categoria II (Terrenos abertos em nível com poucos obstáculos isolados) por causa do rio Pinheiros, que propicia um espaço comprido para formar rajadas de vento. Consideramos que a nossa edificação é de classe B (edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal é esteja entre 20m e 50m). A altura sobre o terreno da nossa estrutura não excede 10,0m. Então, com a tabela fornecida pela norma,

adotamos um fator $S_2 = 0,98$. Para o fator estatístico S_3 , adotamos o valor 1,0 porque a vida útil de 50 anos adotada nos cálculos indicados pela norma é considerada adequada, e a ruina total ou parcial da estrutura não pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (especificação da norma).

Então a velocidade característica do vento é:

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 = 40 * 1,0 * 0,98 * 1,0 = 39,2 \text{ m/s}$$

Portanto, a pressão dinâmica do vento é:

$$q = 0,613 V_k^2 = 0,613 * 39,2^2 = 0,942 \text{ kN/m}^2$$

Segundo as tabelas da norma *NBR 6123*, o coeficiente de arrasto para uma estrutura prismática rectangular, a uma altura aproximada de 5,0m do solo, de comprimento horizontal 20,0m, de largura 4,70m, com vento incidindo em uma altura efetiva de 2,50m (altura da estrutura com pessoas e bicicletas posicionadas na estrutura), vale $C_a = 0,5$.

Então, a força de arrasto é calculada pela expressão:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e$$

A área efetiva A_e é a área onde o vento está incidindo. No caso de uma passarela de pedestres e bicicletas, consideramos que o vento está incidindo em uma superfície correspondente à estrutura e as pessoas / bicicletas posicionadas na estrutura. Essa superfície, para um vão de 20,0m, vale

$$A_e = 20,0 * (0,70 + 1,80) = 50,0 \text{ m}^2$$

Então, a força de arrasto vale:

$$F_a = 0,5 * 0,942 * 50,0 = 23,55 \text{ kN}$$

III) Materiais utilizados, parâmetros mecânicos dos materiais

Como já comentado na primeira parte do trabalho (primeiro semestre), o aço é o material mais apropriado para esse tipo de estrutura, considerando os vãos, as cargas atuantes e o aproveitamento da estrutura de concreto existente.

Segundo as situações, e em particular, segundo as geometrias desejadas e as solicitações nas peças, escolheremos perfis laminados tipo W, ou perfis soldados tipo VS.

Trabalharemos com aço ASTM A572 Gr50. Esse aço tem o seguinte limite de escoamento:

$$f_y = 34.5 \text{ kN/cm}^2$$

Adotamos o módulo de elasticidade seguinte:

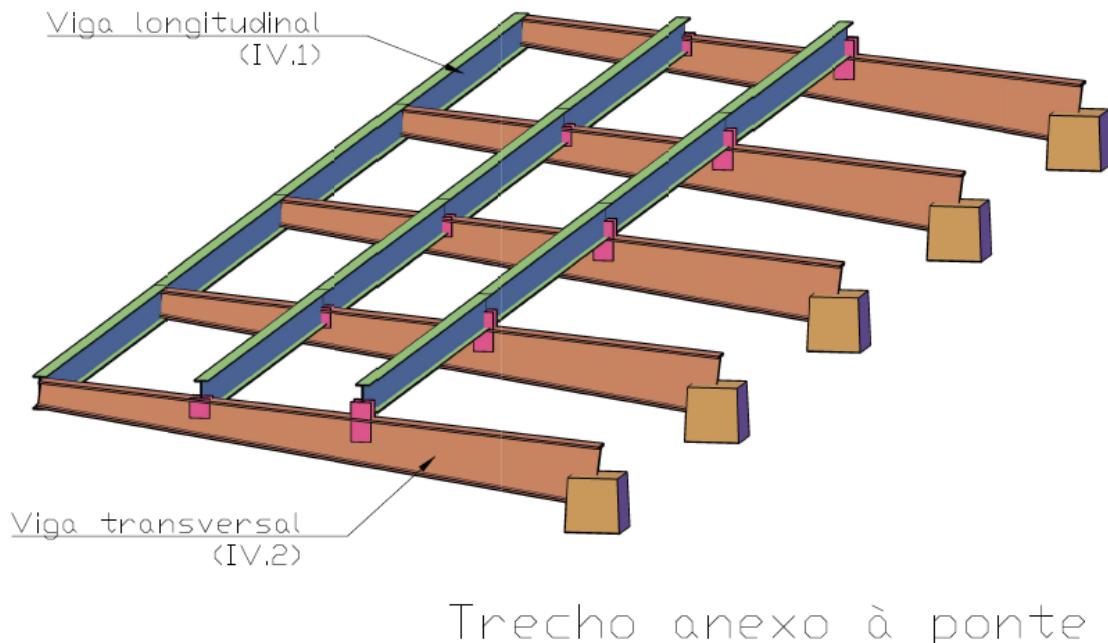
$$E = 210 \text{ GPa}$$

Para os pilares de concreto armado do trecho B, adotamos concreto com

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

E consideramos aço para concreto armado CA-50B.

IV) Dimensionamento do trecho anexo à ponte existente



IV.1) Dimensionamento das vigas longitudinais

A parte anexa à ponte tem 3,75m de largura (entre eixos das vigas extremas) para a parte apoiada na estrutura anexa. O espaçamento entre vigas longitudinais é 1,25m: as duas vigas do meio recebem uma carga distribuída correspondente a 1,25m de largura. A cantoneira recebe também uma parcela da carga, como as vigas longitudinais.

Adotamos um vão de $L=5,0\text{m}$ com uma distância sem travamento de 2.50m , e consideramos em uma primeira tentativa, perfis **W 250 x 17,9**. A massa linear do perfil é $18,1\text{kg/ml}$. Consideramos a massa do revestimento: 50kg/m^2 então massa linear= 62.5kg/ml

O momento característico máximo devido à sobrecarga é:

$$M_{\max,q} = \frac{p_q \cdot l^2}{8} = \frac{1.25 * 5,0 * 5,0^2}{8} = 19,53\text{kN.m}$$

O momento característico máximo devido ao peso próprio é:

$$M_{\max,g} = \frac{p_g \cdot l^2}{8} = \frac{(0,0181 + 0,0625) * 9,81 * 5,0^2}{8} = 2,47\text{kN.m}$$

IV.1.A) Critério de flecha

Adotamos o critério seguinte: para vigas de piso, a flecha não deve ultrapassar

$$\frac{L}{350} = \frac{5.00}{350} = 1.43\text{cm}$$

Combinação frequente de serviço:

$$p_{\max,ELS} = p_{\max,g} + 0,4 * p_{\max,q} = (0.0181 + 0.0625) * 9.81 + 0,4 * 1.25 * 5.0 = 3.29\text{kN/m}$$

$$\frac{5 \cdot p_{ELS} \cdot L^4}{384 \cdot EI} \leq \frac{L}{350}$$

$$\text{Então } I \geq \frac{350 \cdot 5 \cdot 3.29 \cdot 5.0^3}{384 \cdot 210000000} = 892.47\text{cm}^4$$

$$\text{Aqui, } I_x = 2291\text{cm}^4 \text{ OK}$$

IV.1.B) Momento fletor

Com $\gamma_q = \gamma_g = 1,4$ (ELU) obtemos:

$$M_{Sd} = 1,4 * 19,53 + 1,4 * 2,47 = 30,80\text{kN.m}$$

$$V_{Sd} = 1,4 * \frac{p_g + p_q}{2} \cdot l = 24,64\text{kN}$$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE MESA: (FLM)

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = \frac{101}{2 \cdot 5.3} = 9,53$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 9,38$$

$$\lambda_r = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}} = 0,83 \cdot \sqrt{\frac{E}{0,7 \cdot f_y}} = 24,48$$

$\lambda_r > \lambda > \lambda_p$ então precisa verificar FLM:

$$M_{Rk} = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

$$\text{Com } M_p = Z_x \cdot f_y = 211 \cdot 34.5 = 72,80\text{kN.m}$$

$$M_r = W_x \cdot (f_y - \sigma_r) = W_x \cdot 0,7 \cdot f_y = 44.20\text{kN.m}$$

$$\text{Portanto, } M_{Rk} = 72.80 - (72.80 - 44.20) \cdot \frac{9.53 - 9.38}{24.48 - 9.38} = 72.52\text{kN.m}$$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE ALMA: (FLA)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{240,4}{4,8} = 50,08$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 92,77$$

$\lambda < \lambda_p$ então não precisa verificar FLA. Portanto, $M_{Rk} = M_{Pl} = Z_x \cdot f_y = 211 * 34.5 = 72.80 \text{ kN.m}$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LATERAL COM TORCÃO (FLT)

Considerando uma distância entre travamentos $l_b = 2,50 \text{ m}$,

$$\lambda = \frac{l_b}{r_y} = \frac{250}{1,99} = 125,63$$

Para perfis I e U,

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 43,42$$

A esbeltez limite do regime elástico-linear vale:

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot E \cdot \sqrt{I_y I_t} \sqrt{1 + \sqrt{1 + b^2}}}{W_x \cdot (f_y - \sigma_r) \cdot r_y}$$

$$\text{Com } b = \frac{2,6 \cdot W_x}{E \cdot I_t} (f_y - \sigma_r) (d - t_f) = \frac{2,6 * 183}{21000 * 2,54} * (0,7 * 34,5) * (25,1 - 0,53) = 5,293$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 * 21000 * \sqrt{91 * 2,54} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + 5,293^2}}}{183 * 0,7 * 34,5 * 1,99} = 126,60$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ então:

$$M_{Rk} = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Com $M_p = Z_x \cdot f_y = 211 * 34.5 = 72,80 \text{ kN.m}$

$$M_r = W_x \cdot (f_y - \sigma_r) = W_x \cdot 0,7 \cdot f_y = 44,20 \text{ kN.m}$$

$$\text{Portanto, } M_{Rk} = 72,80 - (72,80 - 44,20) * \frac{125,63 - 43,42}{126,60 - 43,42} = 44,53 \text{ kN.m}$$

Adotando o menor valor entre FLA, FLM e FLT:

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{1,1} = \frac{44,53}{1,1} = 40,48 \text{ kN.m} > 30,80 \text{ kN.m} = M_{Sd} \quad \text{OK}$$

IV.1.C) Estádio-limite de instabilidade local por força cortante na alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{240,4}{4,8} = 50,08$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 27,14$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{5,0 * 21000}{34,5}} = 75,58$$

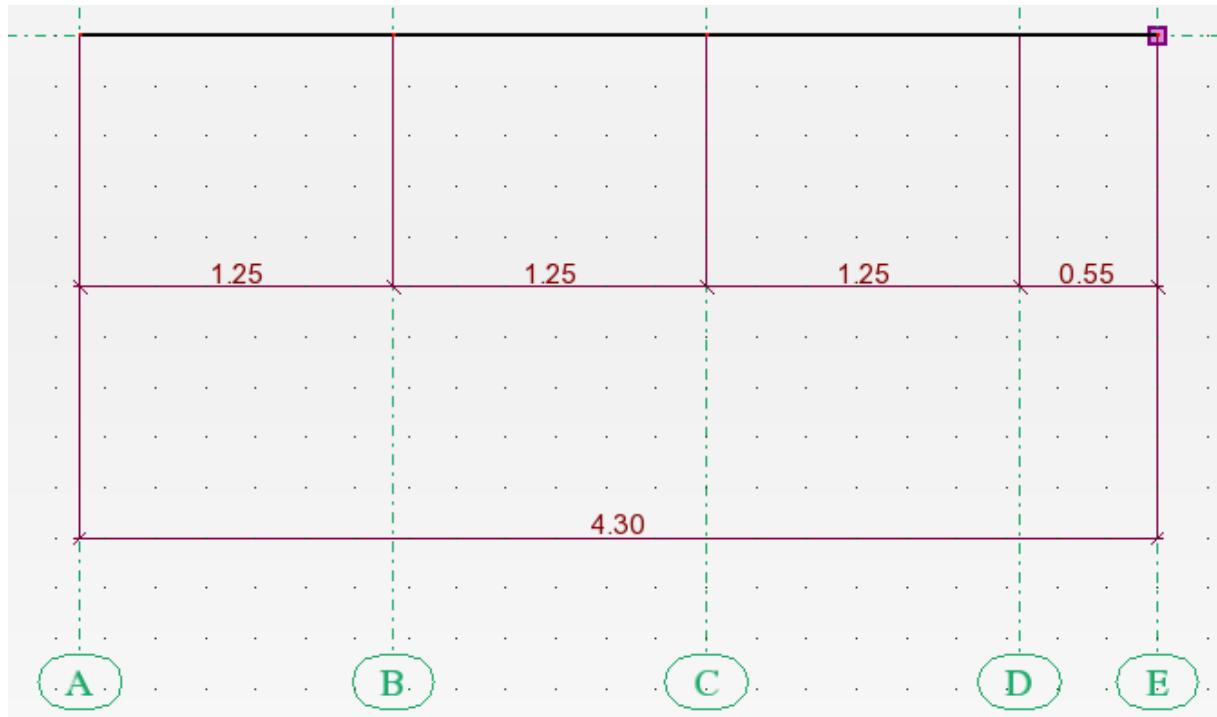
$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ então:

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda} = \frac{27,14}{50,08} * \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_w}{1,1} = 117,68 \text{kN} > V_{Sd} \text{ OK}$$

Então não precisa de enrijecedores na alma.

IV.2) Dimensionamento da viga console

Temos uma viga engastada de seção variável de vão $L=4,30\text{m}$.



Cargas atuantes:

Há 3 vigas de 5m de vão apoiadas na console.

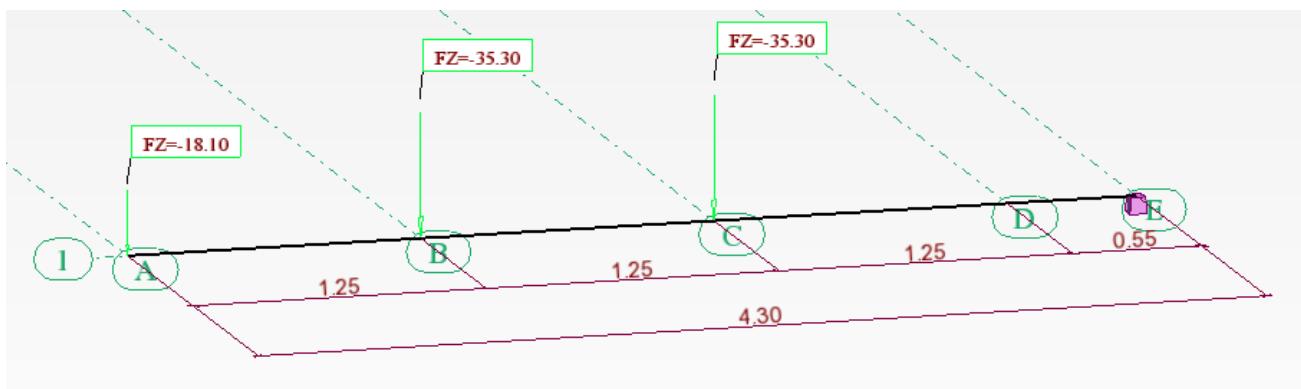
A massa linear das transversais: $0,181\text{kN/m} \Rightarrow 0,905\text{kN}$

$$p_{rev} = 0,625 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \Rightarrow 3,125 \text{ kN sobre o apoio, devido ao revestimento}$$

$$q_{sc} = 6,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \Rightarrow 31,25 \text{ kN devido a sobrecarga}$$

Tem a metade das cargas no eixo A (área de influência menor)

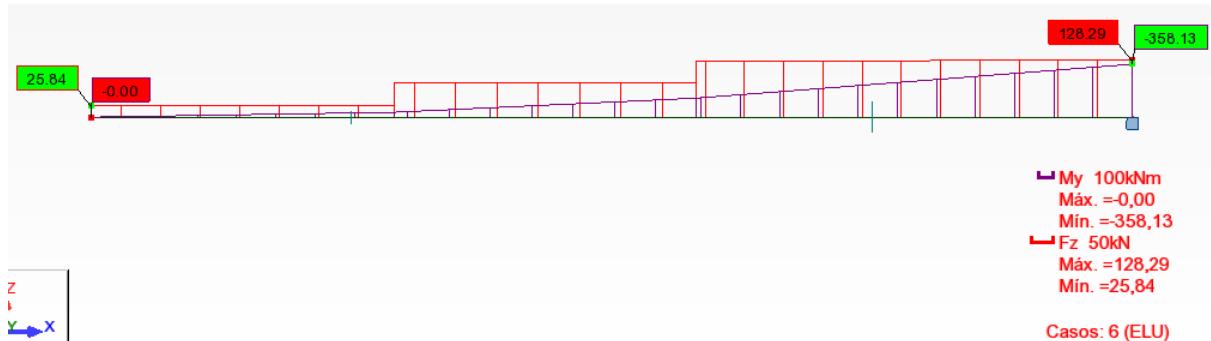
Então, temos 3 cargas pontuais, a primeira de valor $18,1\text{kN}$ e as outras de $35,3\text{kN}$.



Então, o momento máximo vale: $M_k = 18,1 * 4,3 + 35,3 * (3,05 + 1,8) = 250\text{kN.m}$

$$M_{sd} = 1,4 * M_k = 350\text{kN.m} \approx 360\text{kN.m} \text{ (com o peso proprio)}$$

$$\text{e } V_k = 89\text{kN} \text{ então } V_{sd} = 124,18\text{kN} \approx 130\text{kN} \text{ (com o peso proprio)}$$



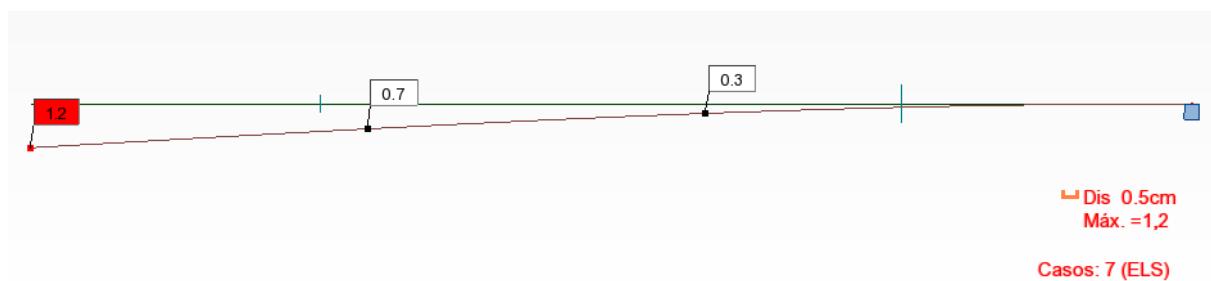
Definimos uma seção variável de maior seção o perfil **W460x74,0** até uma altura de 200mm na extremidade.

IV.2.A) Critério de flecha

Adotamos o critério seguinte: para vigas de piso, a flecha não deve ultrapassar

$$\frac{L}{350} = \frac{4,30}{350} = 1.20\text{cm}$$

Usamos o software ROBOT na combinação de serviço para calcular a flecha :



A flecha é de 1,2cm < 1,22cm OK

IV.2.B) Momento fletor

Com $\gamma_q = \gamma_g = 1,4$ (ELU) obtemos:

$$M_{sd} = 360\text{kN.m}$$

$$V_{sd} = 130\text{kN}$$

Seguindo o anexo J da norma da NBR8800 sobre as barras de seção variável, na determinação dos parâmetros de esbeltez, adotamos as propriedades geométricas da seção de maior altura, ou seja do perfil W460x74.

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE MESA: (FLM)

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = \frac{190}{2 * 14.5} = 6,55$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 * \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 9,38$$

$\lambda < \lambda_p$ então não precisa verificar FLM:

$$M_{Rk} = M_p = Z_x \cdot f_y = 1657 * 34.5 = 571,7 \text{ kN.m}$$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE ALMA: (FLA)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 44,89$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 92,77$$

$\lambda < \lambda_p$ então não precisa verificar FLA.

Portanto, $M_{Rk} = M_p = Z_x \cdot f_y = 1657 * 34.5 = 571,7 \text{ kN.m}$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LATERAL COM TORCÃO (FLT)

Considerando uma distância entre travamentos $l_b = 1,25 \text{ m}$,

$$\lambda = \frac{l_b}{r_y} = \frac{125}{4,93} = 25,35$$

Para perfis I e U,

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 43,42$$

$\lambda < \lambda_p$ então:

$$M_{Rk} = M_p = 571,7 \text{ kN.m}$$

Adotando o menor valor entre FLA, FLM e FLT:

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{1,1} = \frac{1638,4}{1,1} = 571,7 \text{ kN.m} > 350 \text{ kN.m} = M_{Sd} \quad \text{OK}$$

IV.2.C) Estádio-limite de instabilidade local por força cortante na alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{428}{9,0} = 47,56$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 27,14$$

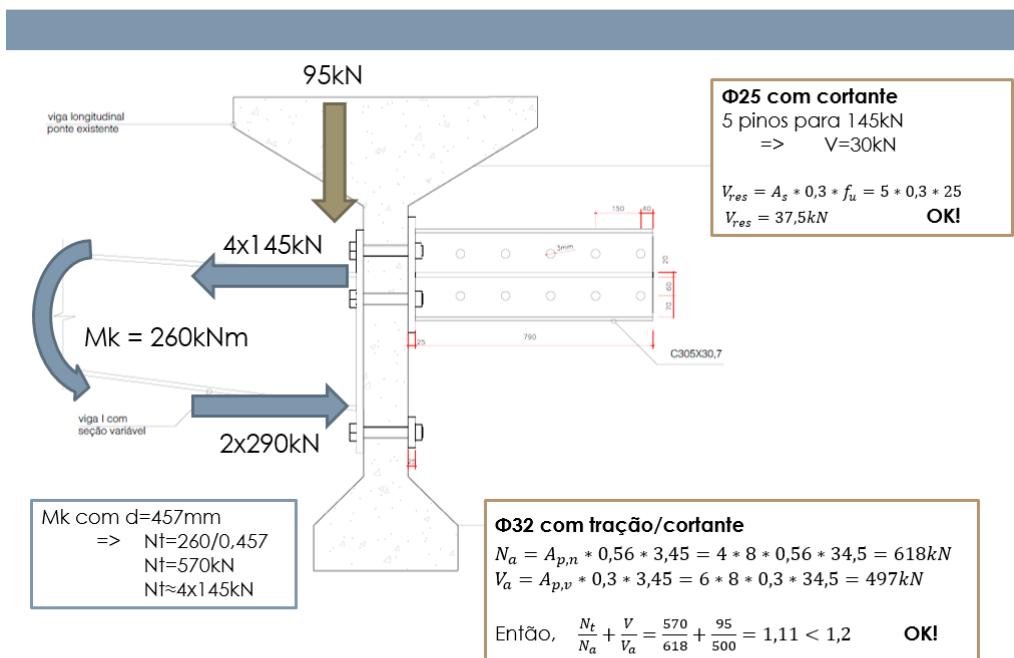
$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{5,0 \cdot 21000}{34,5}} = 75,58$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ então:

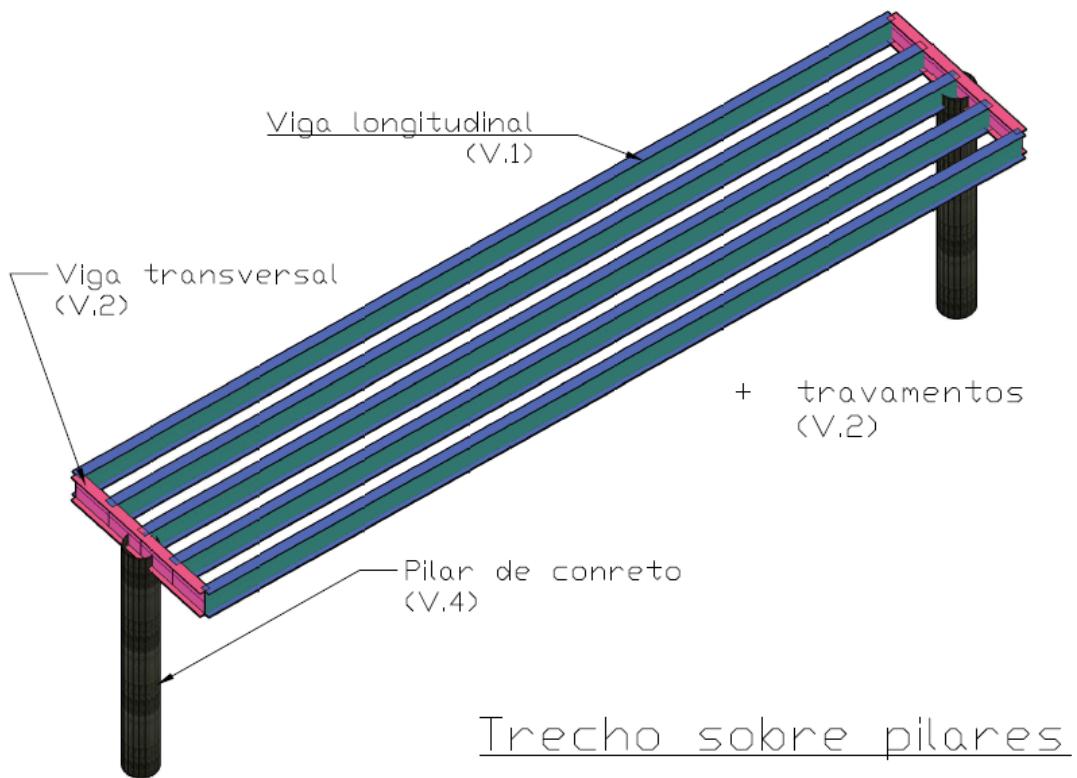
$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda} = \frac{27,14}{47,56} \cdot \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_w}{1,1} = 299,75 \text{ kN} > 130 \text{ kN} = V_{Sd} \text{ OK}$$

Então não precisa de enrijecedores na alma.

IV.2.D) Ligação console/viga de concreto



V) Dimensionamento do trecho sobre pilares, do lado da USP



V.1) Dimensionamento das vigas longitudinais

A parte sobre pilares da passarela tem 4,70m de largura (entre eixos das vigas extremas). A passarela se apoia sobre 5 vigas. Então, as vigas do meio recebem uma carga correspondente a $\frac{4,70}{4} = 1.175\text{m}$ de largura. Adotamos um vão de 20,0m com travamentos cada 2,50m, e consideramos em uma primeira tentativa, perfis **W 610x 101,0**.

A massa linear do perfil é 102.3 kg/ml

Consideramos a massa do revestimento: 50kg/m² então massa linear= 58.75 kg/ml

O momento característico máximo devido à sobrecarga é:

$$M_{\max,q} = \frac{p_q \cdot l^2}{8} = \frac{1.175 * 5,0 * 20,0^2}{8} = 293.75 \text{ kN.m}$$

O momento característico máximo devido ao peso próprio é:

$$M_{\max,g} = \frac{p_g \cdot l^2}{8} = \frac{(0,1023 + 0,05875) * 9,81 * 20,0^2}{8} = 79.00 \text{ kN.m}$$

V.1.A) Critério de flecha

Adotamos o critério seguinte: para vigas de piso, a flecha não deve ultrapassar

$$\frac{L}{350} = \frac{20.00}{350} = 5.7\text{cm}$$

Combinação rara de serviço:

$$p_{\max,ELS} = p_{\max,g} + 0,4 * p_{\max,q} = (0.1023 + 0.05875) * 9.81 + 0.4 * 1.175 * 5.0 = 3.93\text{kN/m}$$

$$\frac{5 \cdot p_{ELS} \cdot L^4}{384 \cdot EI} \leq \frac{L}{350}$$

$$\text{Então } I \geq \frac{350 \cdot 5 \cdot 3.93 \cdot 20.0^3}{384 \cdot 210000000} = 68229 \text{ cm}^4$$

$$\text{Aqui, } I_x = 77003 \text{ cm}^4 \text{ OK}$$

V.1.B) Momento fletor

Com $\gamma_q = \gamma_g = 1,4$ obtemos:

$$M_{Sd} = 1,4 * 293.75 + 1,4 * 79.00 = 521.85\text{kN.m}$$

$$V_{Sd} = 1,4 * \frac{p_g + p_q}{2} \cdot l = 104.37\text{kN}$$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE MESA: (FLM)

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = \frac{228}{2 \cdot 14.9} = 7.65$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 9,38$$

$\lambda < \lambda_p$ então não precisa verificar FLM.

$$\text{Portanto, } M_{Rk} = M_{Pl} = Z_x \cdot f_y = 2923 * 34.5 = 1008.44 \text{ kN.m}$$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE ALMA: (FLA)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{603}{10.5} = 57.43$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 92,77$$

$\lambda < \lambda_p$ então não precisa verificar FLA.

Portanto, $M_{Rk} = M_{Pl} = Z_x \cdot f_y = 2923 * 34.5 = 1008.44 \text{ kN.m}$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LATERAL COM TORCÃO (FLT)

Considerando uma distância entre travamentos $l_b = 5.00 \text{ m}$,

$$\lambda = \frac{l_b}{r_y} = \frac{500}{4.76} = 105.04$$

Para perfis I e U,

$$\lambda_p = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 43,42$$

A esbeltez limite do regime elástico-linear vale:

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot E \cdot \sqrt{I_y I_t} \sqrt{1 + \sqrt{1 + b^2}}}{W_x \cdot (f_y - \sigma_r) \cdot r_y}$$

$$\text{Com } b = \frac{2,6 \cdot W_x}{E \cdot I_t} (f_y - \sigma_r) (d - t_f) = \frac{2,6 \cdot 2554}{21000 \cdot 81.68} * (0.7 * 34.5) * (60.3 - 1.49) = 5.498$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 * 21000 * \sqrt{2951 * 81.68} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + 5.498^2}}}{2554 * 0.7 * 34.5 * 4.76} = 124.39$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ então:

$$M_{Rk} = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

Com $M_p = Z_x \cdot f_y = 2923 * 34.5 = 1008,44 \text{ kN.m}$

$$M_r = W_x * (f_y - \sigma_r) = W_x * 0.7 * f_y = 616.79 \text{ kN.m}$$

$$\text{Portanto, } M_{Rk} = 1008.44 - (1008.44 - 616.79) * \frac{105.04 - 43.42}{124.39 - 43.42} = 710.39 \text{ kN.m}$$

Adotando o menor valor entre FLA, FLM e FLT:

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{1.1} = \frac{710.39}{1.1} = 645.81 \text{ kN.m} > 521.85 = M_{Sd} \quad \text{OK}$$

V.1.C) Estádio-limite de instabilidade local por força cortante na alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{571}{10.5} = 54.38$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 27,14$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{5,0 \cdot 21000}{34,5}} = 75,58$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ então:

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \cdot \frac{V_{Pl}}{1.1} = \frac{27.14}{54.38} \cdot \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_w}{1.1} = 563.08 \text{ kN} > V_{Sd} = 104.37 \text{ OK}$$

Então não precisa de enrijecedores na alma.

V.2) Dimensionamento das vigas transversais (sobre os pilares)

Consideramos em uma primeira tentativa, perfis **W 610x 101,0** com comprimento 4.70m.

A parte sobre pilares da passarela tem 4,70m de largura.

V.2.A) Critério de flecha

Adotamos o critério seguinte: para vigas de piso, a flecha não deve ultrapassar $\frac{L}{350}$.

A viga longitudinal do meio, apoiada na transversina em cima do pilar de concreto, não gera nenhuma flecha na extremidade da transversina. Vamos então considerar o efeito das duas vigas intermediárias e das duas vigas extremas.

Em cada apoio das vigas longitudinais intermediárias (a 1.15m do engaste) chega metade da carga de duas vigas:

A carga distribuída nas vigas longitudinais intermediárias (combinação frequente) é:

$$p_{max,ELS} = p_{max,g} + 0,4 * p_{max,q} = (0.1023 + 0.05875) * 9.81 + 0.4 * 1.175 * 5.0 = 3.93 \text{ kN/m}$$

$$F_{1,CF} = 2 * \frac{p_g + 0,4 * p_q}{2} \cdot l = 78.60 \text{ kN}$$

Nos apoios extremos (a 2.30m do engaste) chega menos carga (a largura da zona de influência é 0.69m):

$$F_{2,CF} = 2 * \frac{p_g + 0,4 * 0.69 * 5.0}{2} \cdot l = 30.34 \text{ kN}$$

A situação é simétrica.

A flecha na extremidade (distância 2.35m do apoio) devida a $F_{1,CF}$ (aplicada a 1.15m do apoio) é:

$$f_1 = \frac{F_{1,CF} * 1.15^2 * (3 * 2.35 - 1.15)}{6EI} = \frac{78.60 * 1.15^2 * (3 * 2.35 - 1.15)}{6 * 210000000 * 77003.10^{-8}} = 0.63 \text{ mm}$$

A flecha na extremidade (distância 2.35m do apoio) devida a $F_{2,CF}$ (aplicada a 2.30m do apoio) é:

$$f_2 = \frac{F_{2,CF} * 2.30^2 * (3 * 2.35 - 2.30)}{6EI} = \frac{30.34 * 2.30^2 * (3 * 2.35 - 2.30)}{6 * 210000000 * 77003.10^{-8}} = 0.79 \text{ mm}$$

$$\text{Então } f_1 + f_2 = 1.42 \text{ mm} < \frac{L}{350} = \frac{235}{350} = 6.7 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

V.2.B) Momento fletor

Nesse dimensionamento, desprezamos o peso próprio da viga.

Em cada apoio das vigas longitudinais do meio (a 1.15cm do engaste) chega metade da carga (ação característica) de duas vigas:

$$F_{1,k} = 2 * \frac{p_g + p_q}{2} \cdot l = 2 * \frac{(0.1023 + 0.05875) * 9.81 + 1.175 * 5.0}{2} \cdot l = 149.10 \text{ kN}$$

Em cada apoio das vigas longitudinais laterais (a 2.30cm do engaste) chega metade da carga (ação característica) de duas vigas:

$$F_{2,k} = 2 * \frac{p_g + p_q}{2} \cdot l = 2 * \frac{(0.1023 + 0.0345) * 9.81 + 0.69 * 5.0}{2} \cdot l = 95.84 \text{ kN}$$

Com $\gamma_q = \gamma_g = 1,4$ obtemos o momento fletor e a força cortante, máximos no apoio:

$$M_{Sd} = 1,4 * F_{1,k} * 1.15 + 1,4 * F_{2,k} * 2.30 = 548.66 \text{ kN.m}$$

$$V_{Sd} = 1,4 * (F_{1,k} + F_{2,k}) = 342.92 \text{ kN}$$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE MESA: (FLM)

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = \frac{228}{2 * 14.9} = 7.65$$

$$\lambda_p = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 * \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 9,38$$

$\lambda < \lambda_p$ então não precisa verificar FLM.

Portanto, $M_{Rk} = M_{Pl} = Z_x \cdot f_y = 2923 * 34.5 = 1008.44 \text{ kN.m}$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LOCAL DE ALMA: (FLA)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{603}{10.5} = 57.43$$

$$\lambda_p = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 92,77$$

$\lambda < \lambda_p$ então não precisa verificar FLA.

Portanto, $M_{Rk} = M_{Pl} = Z_x \cdot f_y = 2923 * 34.5 = 1008.44 \text{ kN.m}$

ESTADO-LIMITE DE INSTABILIDADE LATERAL COM TORCÃO (FLT)

Considerando uma distância entre travamentos $l_b = 2.35 \text{ m}$,

$$\lambda = \frac{l_b}{r_y} = \frac{235}{4.76} = 49.37$$

Para perfis I e U,

$$\lambda_p = 1.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.76 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34.5}} = 43.42$$

A esbeltez limite do regime elástico-linear vale:

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot E \cdot \sqrt{I_y I_t} \sqrt{1 + \sqrt{1 + b^2}}}{W_x \cdot (f_y - \sigma_r) \cdot r_y}$$

$$\text{Com } b = \frac{2.6 \cdot W_x}{E \cdot I_t} (f_y - \sigma_r) (d - t_f) = \frac{2.6 \cdot 2554}{21000 \cdot 81.68} * (0.7 * 34.5) * (60.3 - 1.49) = 5.498$$

$$\lambda_r = \frac{1.38 \cdot 21000 \cdot \sqrt{2951 \cdot 81.68} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 5.498^2}}}{2554 \cdot 0.7 \cdot 34.5 \cdot 4.76} = 124.39$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ então:

$$M_{Rk} = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}$$

$$\text{Com } M_p = Z_x \cdot f_y = 2923 \cdot 34.5 = 1008,44 \text{ kN.m}$$

$$M_r = W_x \cdot (f_y - \sigma_r) = W_x \cdot 0.7 \cdot f_y = 616.79 \text{ kN.m}$$

$$\text{Portanto, } M_{Rk} = 1008.44 - (1008.44 - 616.79) * \frac{49.37 - 43.42}{124.39 - 43.42} = 979.66 \text{ kN.m}$$

Adotando o menor valor entre FLA, FLM e FLT:

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{1.1} = 890.6 \text{ kN.m} > 548.66 = M_{Sd} \quad \text{OK}$$

V.2.C) Estádio-limite de instabilidade local por força cortante na alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{571}{10.5} = 54.38$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{21000}{34,5}} = 27,14$$

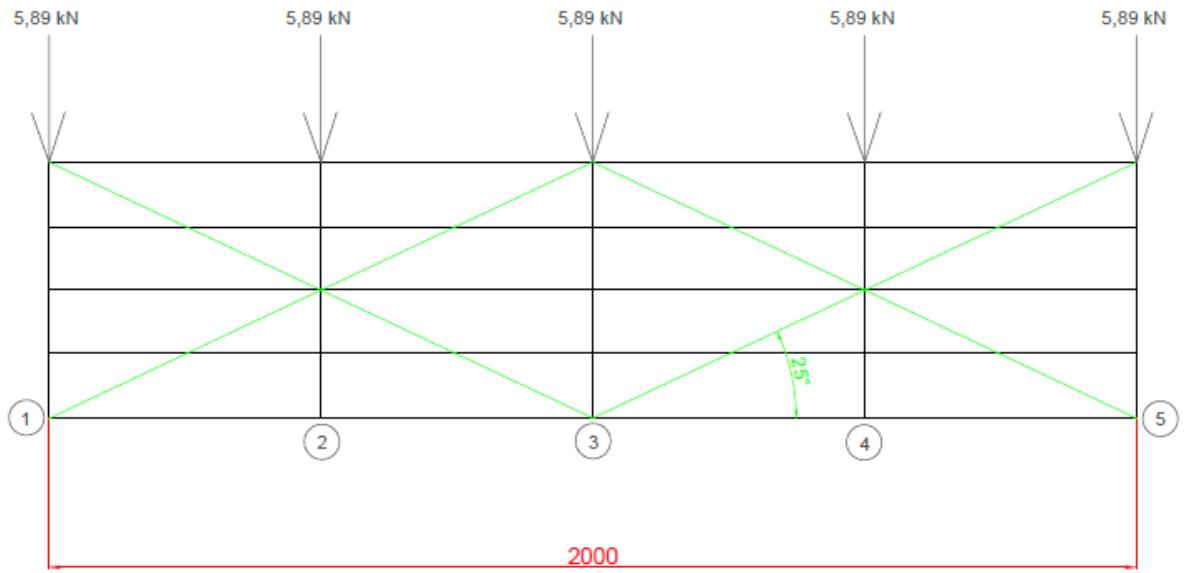
$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}} = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{5,0 * 21000}{34,5}} = 75,58$$

$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ então:

$$V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} * \frac{V_{pl}}{1.1} = \frac{27.14}{54.38} * \frac{0,6 \cdot f_y \cdot A_w}{1.1} = 563.08 \text{ kN} > V_{Sd} = 342.92 \text{ kN} \text{ OK}$$

Então não precisa de enrijecedores na alma.

V.3) Dimensionamento dos travamentos e contraventamentos



Consideramos, como descrito na figura acima, uma força horizontal (devida ao vento) característica de 5,89kN em cada travamento transversal. Esse valor é o valor da força de arrasto (23.55kN) calculada pela norma *NBR 6123* para o vão inteiro de 20,0m, dividido por 4 entre os travamentos. O valor de cálculo dessa força é

$$F_h = 1,4 * 5,89 = 8,25kN$$

V.3.1) Dimensionamento dos tirantes diagonais

Nos eixos 1 e 5 indicados, a força horizontal de vento transita diretamente para o pilar e a fundação do pilar. Precisa transferir as cargas horizontais dos eixos 2, 3 e 4 até a fundação. O tirante do lado direito do esquema tem que trazer o esforço horizontal do eixo 4, mais metade do esforço horizontal do eixo 3, para a viga transversal sobre o pilar. Então, é uma carga horizontal que vale:

$$S_h = 8,25 * \left(1 + \frac{1}{2}\right) = 12,38kN$$

O tirante forma um ângulo 25° com as vigas longitudinais. Então, a carga de tração (valor de cálculo) é:

$$T_d = \frac{12,38}{\sin(25^\circ)} = 29,29kN$$

A área de aço necessária para esses tirantes é:

$$A_s = \frac{T_d \cdot \gamma_s}{f_{yd}} = \frac{29,29 * 1,1}{34,5} = 0,93cm^2$$

Para limitar a flexibilidade das peças (vibrações, deslocamentos excessivos), precisamos verificar a seguinte restrição:

$$\lambda = \frac{l}{r} \leq 300$$

Então, com $l = 2,76m$ no nosso caso, precisamos de um perfil com raio de giração mínimo de:

$$r_{min} = \frac{l}{300} = \frac{276}{300} = 0,92cm$$

Então, podemos adotar barras **DYWIDAG Ø47mm** para os tirantes diagonais:

A área de aço dessa barra é $\pi \cdot 2.35^2 = 17.35cm^2 > 0.93cm^2$ OK

$$\text{O raio de giração dessa barra é } r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{23.95}{17.35}} = 1,17cm > 0,92cm \text{ OK}$$

V.3.2) Dimensionamento dos travamentos transversais

Os travamentos transversais devem resistir a uma compressão de $N_{Sd} = 8,25 kN$, para trazer a carga horizontal de vento até os tirantes. Nesse caso, o comprimento de flambagem é a distância entre vigas longitudinais (1,20m):

$$\lambda = \frac{l}{r} = \frac{120}{1,17} = 102,56$$

$$\lambda_{\pi} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_y}} = 77.51$$

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{\lambda_{\pi}} = 1.32 \text{ então } \chi = 0.482$$

Portanto,

$$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot f_y \cdot A}{\gamma_s} = \frac{0,482 \cdot 34,5 \cdot 17,35}{1,1} = 262,28 kN > 8,25 kN \text{ OK}$$

Então as mesmas barras **DYWIDAG Ø47mm** adotadas como tirantes de contraventamento diagonais podem ser adotadas também como travamentos transversais.

V.4) Dimensionamento dos pilares de concreto (flexo-compressão)

Para os pilares de concreto, que vão apresentar uma seção com grande resistência à compressão, o dimensionamento crítico é o dimensionamento à flexo-compressão. Adotamos então a situação mais crítica para flexo-compressão: a carga de compressão é a carga do peso próprio da estrutura e a carga de flexão seria uma sobrecarga concentrada de um lado só da passarela, de modo a provocar o maior momento fletor possível no pilar de concreto.

Nesse trecho a passarela tem 4,70m de largura, então concentraremos a sobrecarga devida aos pedestres e ciclistas (5kN /m²) em uma faixa de 2,35m de largura, de um lado só da passarela. Pelo engastamento da viga transversal no pilar, essa configuração provoca no pilar de concreto um momento fletor:

$$M_{\text{Sobrecarga}} = \frac{p \cdot L^2}{2} = \frac{(5,0 * 20,0) * 2,35^2}{2} = 276,13 \text{ kN.m}$$

No item II.2) foi calculada a força de arrasto do vento (força horizontal):

$$F_a = 0,5 * 0,942 * 50,0 = 23,55 \text{ kN}$$

Essa força horizontal provoca em baixo do pilar o momento fletor seguinte, considerando o maior pilar, de altura 6,20m:

$$M_{\text{vento}} = 6,20 * F_a = 146,01 \text{ kN.m}$$

Então o valor de cálculo desse esforça solicitante é:

$$M_{\text{Pilar, d}} = 1,4 * (M_{\text{Sobrecarga}} + M_{\text{vento}}) = 591,00 \text{ kN.m}$$

O valor de cálculo do esforço de compressão adotado é o valor característico, porque no caso de flexo-compressão, a compressão é a favor da segurança. Por este motivo, consideramos que o peso próprio da estrutura é o peso somente das vigas de aço, desprezando o peso próprio do pilar de concreto: essa consideração também é a favor da segurança.

Então o valor de cálculo do esforço de compressão é:

$$F_g = g * (153,7 * 20 * 4 + 111,5 * 4.70) = g * 12820,05 = 125,76 \text{ kN}$$

Usamos as planilhas propostas no livro *Cálculo de concreto armado* do Lauro Modesto dos Santos (Vol.2)

A Tabela I47 fornece as taxas de armação para 24 barras e uma distância entre o centro dos ferros e a borda de 5,0cm em função dos esforços atuantes:

$$A_c = \frac{\pi \cdot h^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{cd} = \frac{0,8 f_{ck}}{1,4} = \frac{0,8 * 0,3}{1,4} = 0,171 \text{ tf/cm}^2$$

$$\nu = \frac{N_d}{\sigma_{cd} A_c} = \frac{12,576}{0,171 * 1963} = 0,037$$

$$\mu = \frac{M_d}{\sigma_{cd} A_c h} = \frac{5910,0}{0,171 * 1963 * 50} = 0,352$$

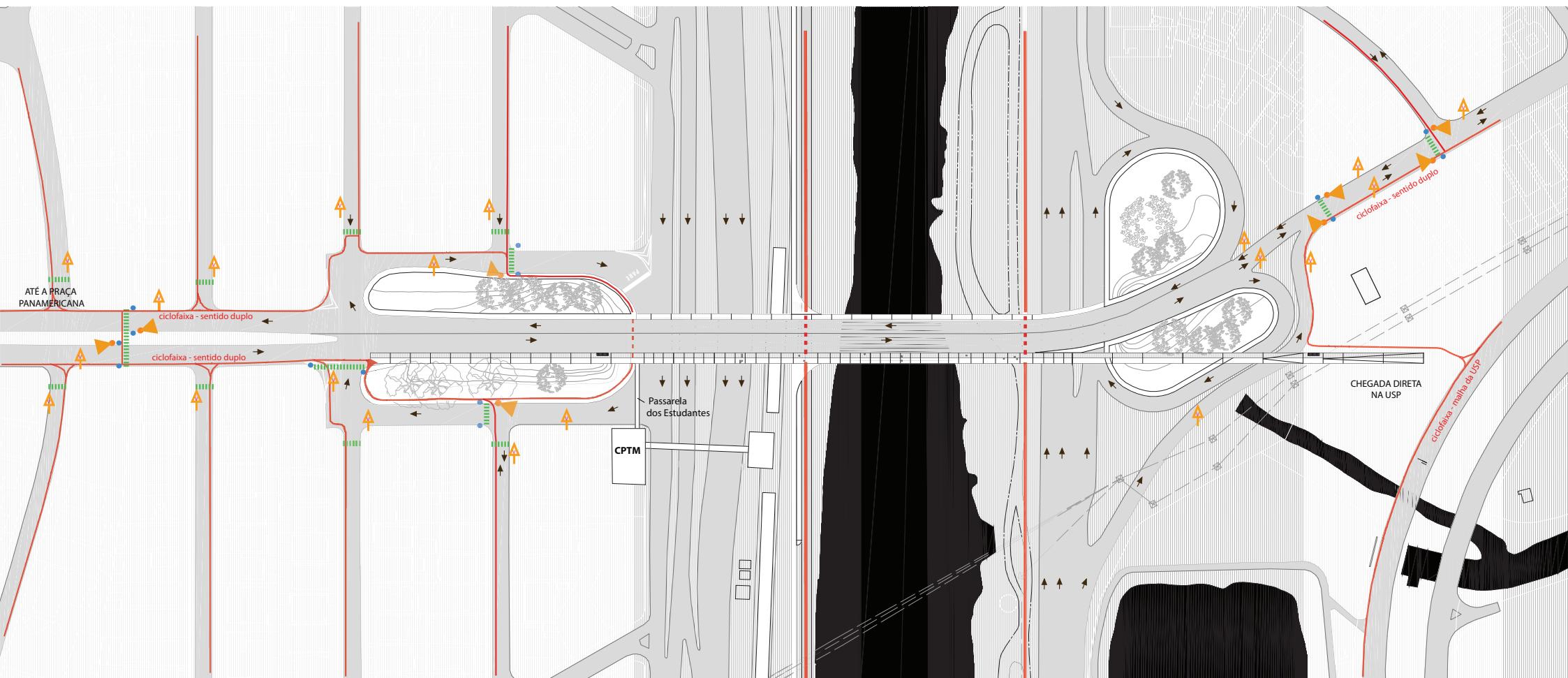
Com uma interpolação entre os valores da tabela, obtemos uma taxa de armação de:

$$\rho = 5,13\%$$

$$A_{s,min} = \rho A_c = 100,71 \text{ cm}^2$$

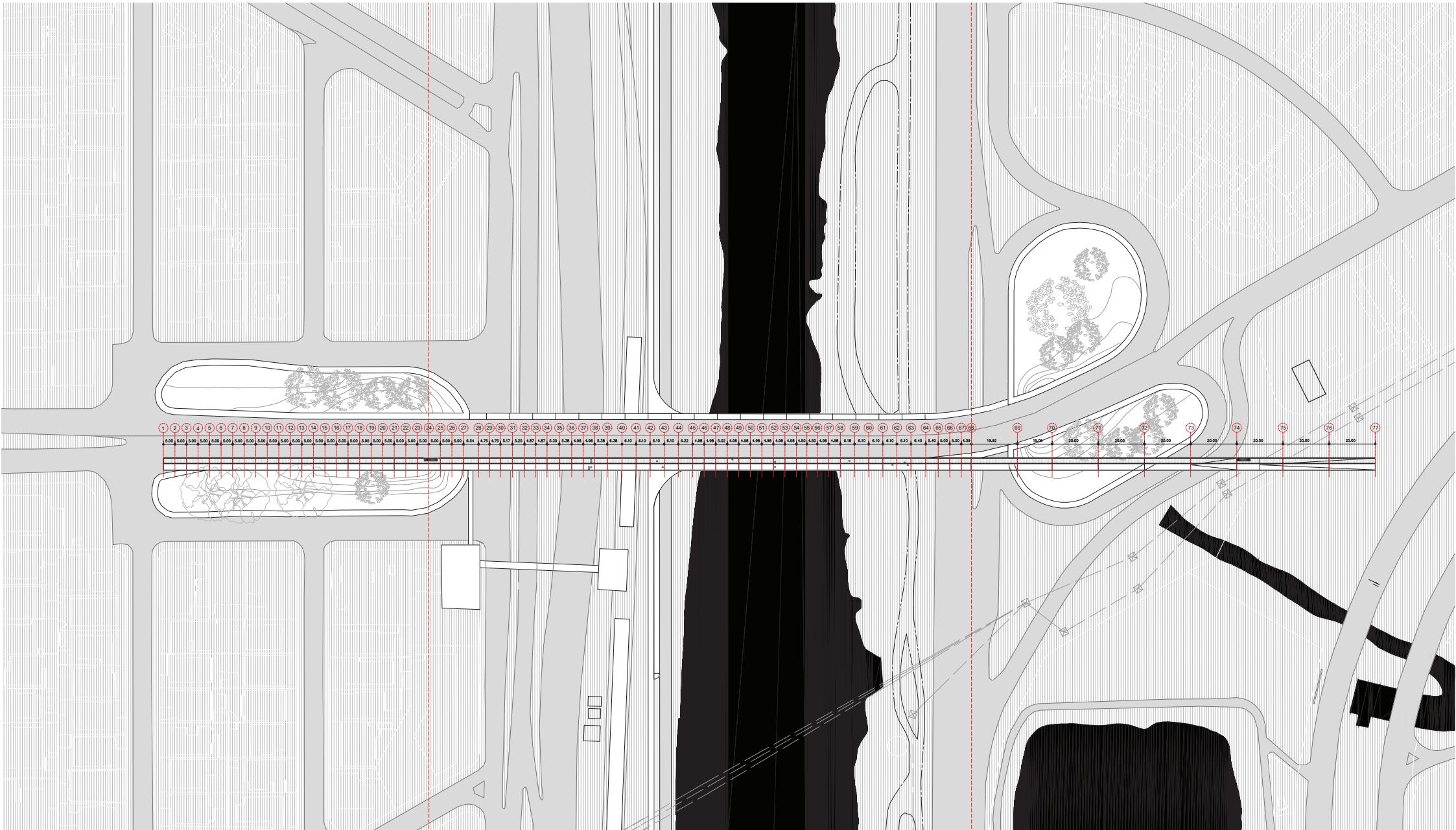
Com 24 barras, precisamos utilizar barras de ø25mm:

$$A_s = 24 * (1,25^2 * \pi) = 117,81 \text{ cm}^2 > 100,71 \text{ cm}^2$$



10 20 50



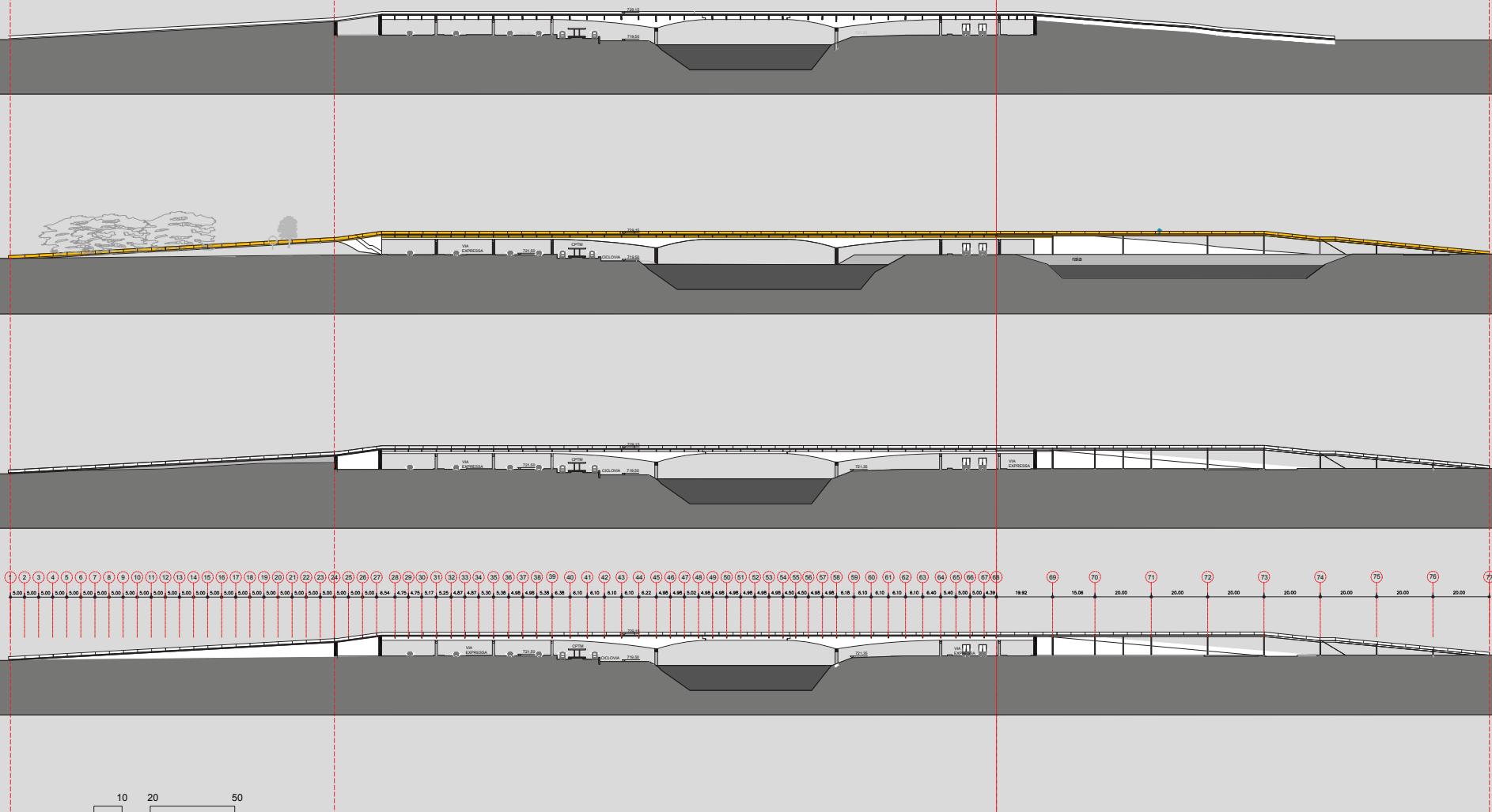


COMPRIMENTO TOTA
525m

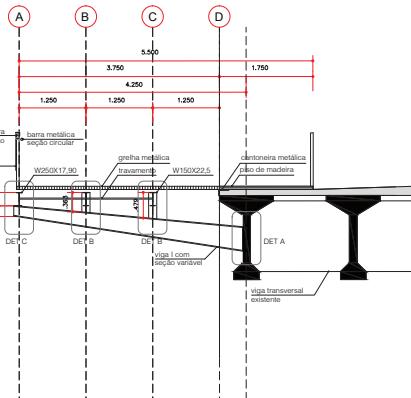
CHEGADA ALTO DE PINHEIROS
115m
PRAÇA PAN-AMERICANA

TRECHO SOBRE A PONTE-TRECHO SOBRE O RIO
235m

CHEGADA BUTANT
175m
ACESSO USP
→

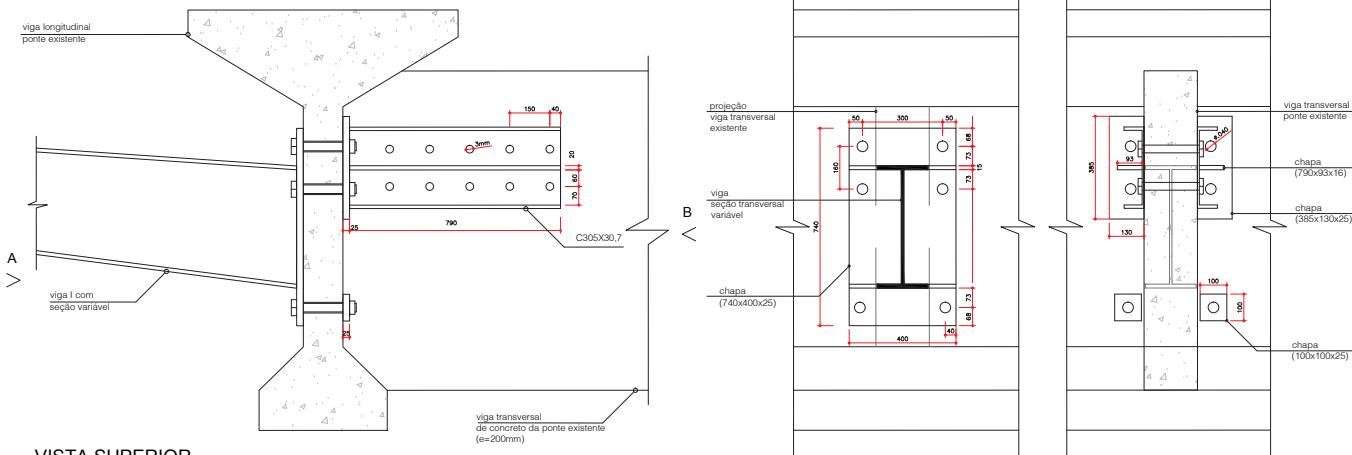


CORTE
TRANSVERSAL
esc.
1:50

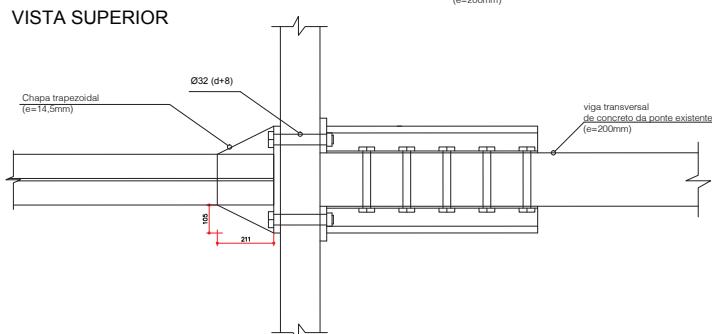


DET A
esc. 1:10

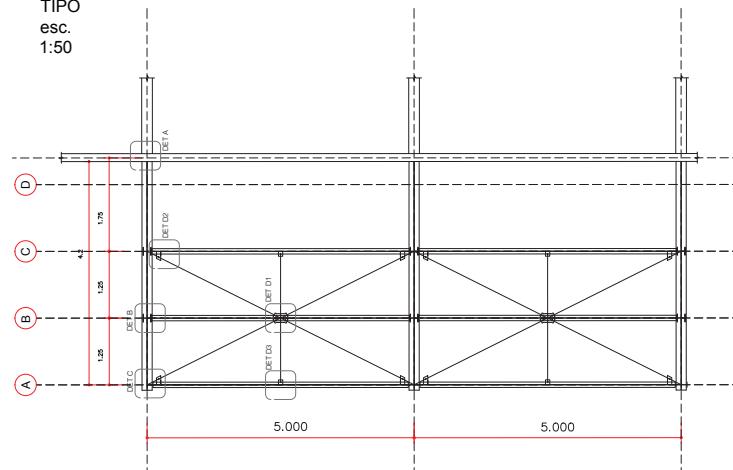
CORTE TRANSVERSAL



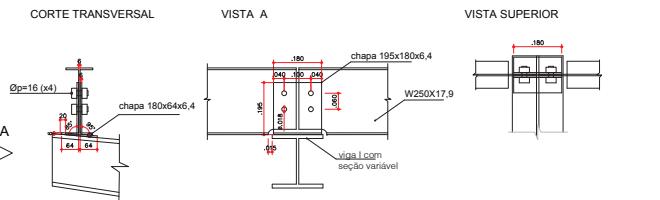
VISTA SUPERIOR



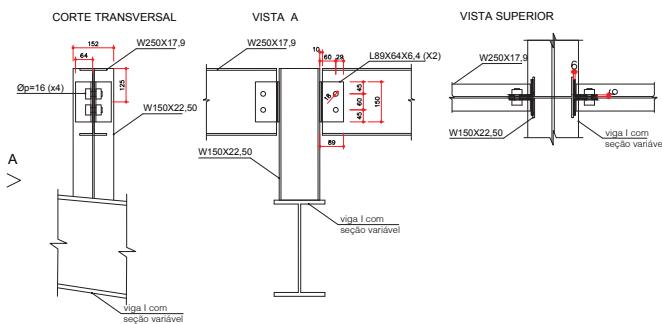
MÓDULO
TIPO
esc.
1:50



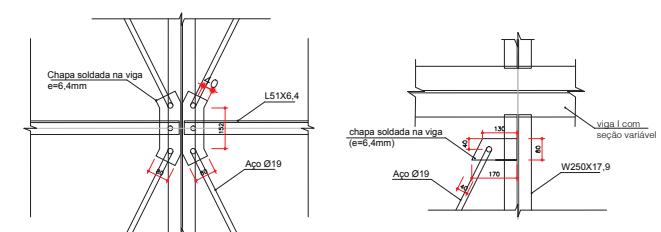
DET C
esc. 1:10



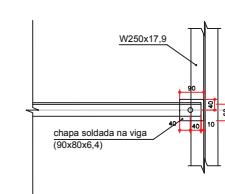
DET B
esc. 1:10



DET D1
esc. 1:10

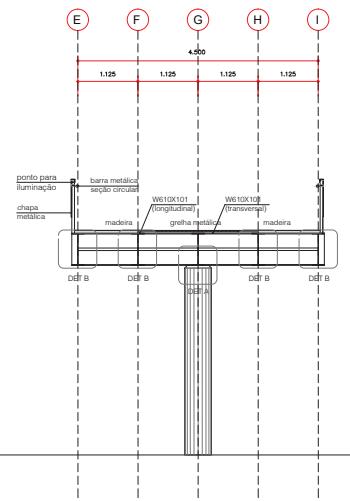


DET D3
esc. 1:10

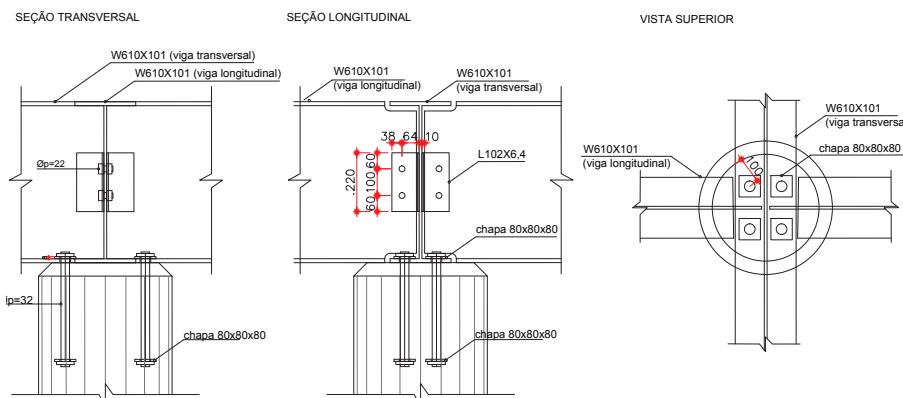


CORTE
TRANSVERSAL

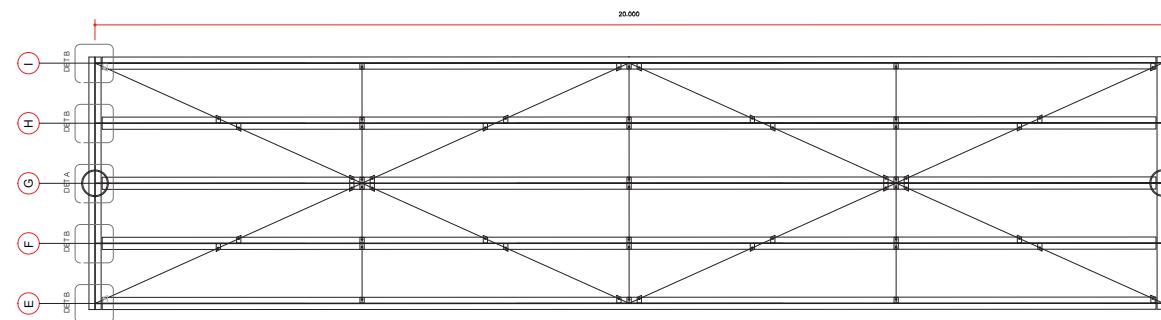
esc.
1:50



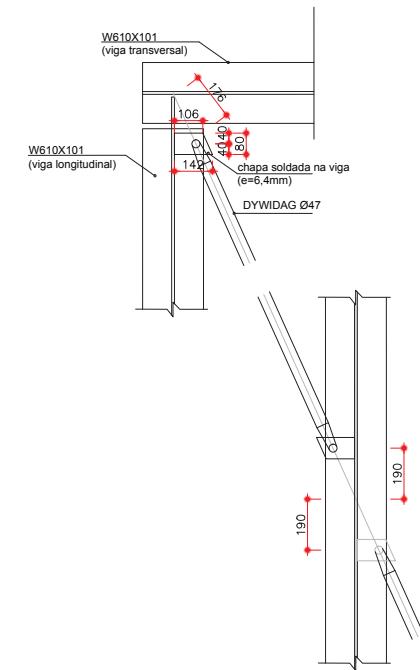
DET A
esc. 1:10



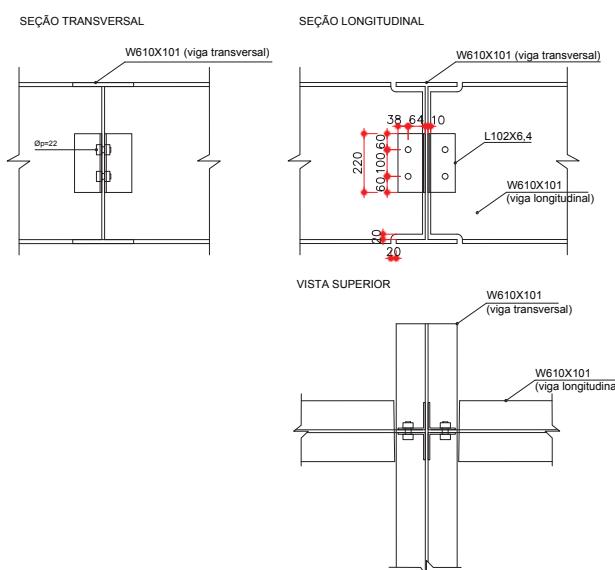
MÓDULO
TIPO
esc.
1:50



DET TRAVAMENTO
esc. 1:10



DET B
esc. 1:5



DET TRAVAMENTO
esc. 1:10

