

Modelagem do Viaduto Millau. Experiência didática orientada e introdutória ao projeto utilizando meios computacionais CAD BIM.

José Luis Menegotto

¹ Escola Politécnica da UFRJ / Departamento de Expressão Gráfica / jlmenegetto@poli.ufrj.br

Resumo

O artigo relata uma experiência didática de modelagem computacional. Utilizando o projeto do Viaduto Millau os alunos são introduzidos a diversos aspectos da modelagem: leitura formal do projeto; segmentação e classificação dos componentes fundamentais; descoberta das relações geométricas; e, leitura modular da obra. Tenta-se estabelecer um conjunto mínimo de habilidades de modelagem manual para, posteriormente, apresentar conceitos de modelagem algorítmica e paramétrica com ferramentas de programação. Embora o desenvolvimento de um programa não seja exigência da disciplina, procura-se destacar ao ato de projetar como um ato de conhecimento, isto é, como um conjunto de tarefas que requerem conhecer, ordenar e controlar desde o início cada um dos aspectos envolvidos e tratados na definição do projeto. A modelagem manual é realizada no tradicional programa AutoCAD e, a modelagem algorítmica, dentro do ambiente de programação visual Dynamo em Revit. Nesse momento, é introduzido o conceito de modelagem BIM (*Building Information Modeling*) e enfatizada a compreensão paramétrica do projeto, destacando que a leitura e aquisição de conhecimento formal realizado sobre o objeto são fatores necessários para conceber a ferramenta de modelagem algorítmica do viaduto. Tal ferramenta permitirá explorar soluções formais cada vez mais ajustadas até chegar à forma final. Em outras palavras, o algoritmo será uma construção paralela ao projeto, na qual ficará expresso o conjunto de decisões tomadas. Na disciplina não são incorporadas questões de cálculo estrutural, estas serão incorporadas em estágios mais avançados da formação dos alunos em disciplinas específicas. Para a materialização do modelo é utilizada documentação gráfica básica e heterogênea publicada sobre a obra. A impressão 3D dos elementos modelados complementa e ajuda ilustrar algumas decisões estéticas envolvidas na articulação formais do viaduto.

Palavras-chave

Viaduto Millau; Modelagem CAD-BIM; Modelagem algorítmica; Impressão 3D.

Introdução.

O computador, como ferramenta de expressão gráfica e de concepção de projeto, vem sendo utilizado e experimentado de maneira ampla ao longo das últimas quatro décadas. Durante esse período, tem repetidamente suscitado a discussão sobre reestruturação de conteúdos curriculares, visando formar profissionais de engenharia e arquitetura. Muitas dessas discussões, que se dão no âmbito nacional como internacional, não são apenas ocasionadas pela incorporação do computador enquanto ferramenta de projeto, mas de modo mais abrangente, pelas possibilidades que a Tecnologia de Informação e Comunicação vai continuamente abrindo dentro de si mesma. Em pouco mais de uma década, as universidades que vinham discutindo a incorporação de ferramentas computacionais CAD nas disciplinas de representação gráfica (BARISON, 1996), passaram a discutir uma outra mudança ainda mais radical: a introdução do conceito BIM nos processos de ideação-concepção-materialização-manutenção de projetos. Tal introdução expandiu as dificuldades de mudanças disciplinares e curriculares, pois ampliou o leque de situações de aplicabilidade das TIC. Para as instituições de ensino, a modificação consensuada de estruturas curriculares não é um processo fácil. Nesse sentido, na bibliografia encontramos já mapeadas algumas das dificuldades

que as TICs vêm colocando no âmbito do ensino (MENEGOTTO *et al*, 2000) (BARISON *et al*, 2011).

Dentro desse contexto, podemos questionar um pressuposto que tacitamente parece estar presente em algumas das propostas de reformas curriculares, segundo o qual o conceito de BIM esteja consolidado e, portanto, possa ser inserido nos currículos universitários para ser ensinado aos futuros profissionais. Ao contrário, parto do pressuposto que BIM não seja ainda um conceito maduro, que permita consolidar uma ementa e ter a centralidade suficiente para modificar, por si só, as estruturas curriculares. Um conceito mais abrangente e genérico, como o de projeto computacional algorítmico talvez seja mais adequado, perante as emergentes tecnologias de IA que, com pouca margem de dúvida, incorporarão em si mesmas a modelagem da informação BIM. Em definitiva, o projeto orientado por computador exige que o profissional domine os seus fundamentos, dentro dos quais a formalização algorítmica seja, talvez, um dos principais aspectos. Eis o desafio de formação profissional amplo que, concordando com Checcucci e Amorim, não pode ser atingido por uma disciplina específica ou dentro de uma grade curricular por um “*único percurso formativo*” (CHECCUCCI *et al*, 2014). No que respeita à educação gráfica das próximas décadas, poderíamos pensar na necessidade de uma formação em contínuo estado de transformação que terá que flexibilizar os conteúdos. O desafio parece ser formar profissionais com sólidos conhecimentos de sua área, mas que deverão atuar auxiliados por ferramentas que vem, aos poucos, incorporando “*inteligência maquina*l” e reduzindo equipes de projeto.

Assim, os docentes que ensinam diversos aspectos do projeto tentam, ao mesmo tempo, integrar conhecimentos e focalizar naqueles itens considerados essenciais para a sua área de expertise. Em períodos cada vez mais curtos, vem-se diante da necessidade de readaptar os conteúdos de Desenho Geométrico, Geometria Descritiva, Desenho Técnico e de aplicação de Normas Técnicas específicas. Tentando manter a carga horária das carreiras dentro de um período que se estenda de cinco a seis anos, sem sacrificar conteúdos necessários à compressão dos temas abordados. Como conclusão parcial poderia afirmar que a metodologia de ensino que incorpore agentes inteligentes no processo de ideação-concepção-materialização-manutenção de projetos, que ainda não parece ser clara o suficiente, tenha que ser explorada. Este artigo relata uma das muitas experiências didáticas que tentam responder essa pergunta antiga: Podemos continuar ensinando desenho perante as ferramentas de modelagem algorítmica? A experiência tenta aproveitar o processo manual de modelagem para introduzir os alunos à perspectiva da modelagem algorítmica, isto é, a modelagem realizada através da escrita de um programa, que é uma das possibilidades abertas desde a introdução do computador na prancheta do projetista e que precisa de aprimoramento contínuo.

Objetivos didáticos.

A carga horária da disciplina Desenho Computacional é de 30 horas, distribuídas em 15 aulas semanais de duas horas. Os alunos pertencem ao Curso Básico de engenharia estando em sua maioria no seu segundo ano, cursando o 3º ou 4º período da carreira. Previamente, devem ter cursado a disciplina Sistemas Projetivos, na qual são compactados, em 60 horas, conteúdos de Geometria Descritiva e Desenho Técnico Básico. Poucos alunos chegam ao curso com experiência no uso de programas gráficos de projeto. Os objetivos didáticos perseguidos são:

- Reforçar e pôr em prática as habilidades de leitura e compreensão espacial de vistas ortográficas e cortes de um projeto, adquiridas previamente na disciplina Sistemas Projetivos.
- Fomentar o trabalho de colaboração formando grupos de dois a três alunos.
- Dar autonomia para a tomada de decisão em relação aos aspectos formais do viaduto cuja documentação tenha sido insuficiente.
- Compreensão temporal do processo de ideação-concepção-materialização-manutenção de grandes obras de engenharia, cuja complexidade demanda sucessivos estágios de aproximação.
- Coordenação dos pontos de inserção e referência do projeto.

- Introduzir a modelagem paramétrica e algorítmica.
- Destacar que os algoritmos geradores, sejam entendidos, não apenas como ferramentas cujo uso se esgotará no momento final de concepção, senão como meios que deveriam permanecer como parte integrante da documentação do projeto, acompanhando o objeto construído ao longo de toda a sua vida útil.
- Destacar a mudança do modelo de ensino de expressão gráfica baseado em produção de documentação gráfica, por um modelo de ensino de expressão gráfica baseado em manipulação de bases de conhecimento.
- Incorporação do algoritmo como um elemento ativo do processo projetual.

O objeto a ser modelado.

Para realizar o exercício são escolhidas obras de arte existentes, que cumpram dois requisitos. O primeiro é apresentar simplicidade formal do conjunto e, contrariamente, o segundo requisito é a existência de complexidade formal das partes que compõem a obra. O viaduto Millau cumpre os dois aspectos procurados.

O projetista do viaduto, Virlogeux, destaca que a obra localizada na França é, junto com a ponte Rion-Antirion localizada na Grécia, exemplo de novas pontes estaiadas com múltiplos vãos (VIRLOGEUX, 2009). O projeto é apresentado para os alunos esclarecendo que o modelo virtual será simplificado, eliminando muitas das complexidades geométricas da obra real. Basicamente são simplificados a topografia; a inclinação transversal da pista; o detalhamento das seções; e os elementos enrijecedores e ligações metálicas. A modelagem se concentra no posicionamento articulado do conjunto de suporte típico ao longo do tabuleiro. Os caimentos das faixas de tráfego são mantidos. O projeto real simplificado no seu nível de detalhamento fica definido por sete elementos estruturais idênticos, distribuídos ao longo de um arco de 2.400 m de corda e 40 m de flecha. Essas medidas adotadas para o exercício são tomadas dentro do ambiente do *Google Earth* e arredondadas.



Figura 1 – Imagem Google Earth do alinhamento planimétrico.

O objetivo é que os alunos dominem o modelo partindo dos seus elementos mais abstratos (eixos e modulações) para ir subindo em nível de complexidade aos componentes mais concretos e às relações geométricas de contato entre as partes.

Ao longo das aulas, o professor desenvolve o seu próprio modelo como orientação metodológica. Algumas considerações geométricas são destacadas e repetidas: a estrutura simétrica do conjunto, a posição estratégica do pilone central, a divisão modular em partes iguais com um módulo básico de 7 e segmentações com múltiplos desse valor (14, 210, 280).

Como durante o trabalho os alunos se vêm confrontados com documentos que apresentam dados divergentes, surge a oportunidade para conceitualizar a problemática da documentação e os diversos modos em que se expressam e atualizam as etapas de um projeto: desenhos de concepção, desenhos de ilustração, desenhos técnicos construtivos, desenhos *as-Built* etc. Dá-se autonomia para eles decidirem o conjunto dimensional que adotarão para a modelagem, além de estimulá-los a fazerem a sua própria pesquisa por dados atualizados e confiáveis.

Etapa inicial: vetorização das imagens de referência.

O exercício se inicia com a apresentação de um conjunto básico de material documental do projeto. Nele estão incluídas as vistas ortográficas dos elementos principais que são: pilone, mastro, posição de arranque dos estai, corte do tabuleiro. Esses arquivos são imagens *bitmap* que devem ser

inseridas e colocadas em escala correta e na unidade de projeto adotada antes de poder iniciar o processo de vetorização. Como cada elemento do viaduto pode estar em uma escala diferente, os alunos devem se atentar e estabelecer uma ordem metodológica. Este momento costuma apresentar dificuldades, pois eles estão iniciando o aprendizado de transformações geométricas junto aos comandos associados.

A vetorização é feita sobre a imagem visualmente esmaecida para permitir a visualização das linhas adicionadas. Essa etapa acontece em paralelo ao aprendizado dos comandos básicos bidimensionais da ferramenta de modelagem. Em geral, finaliza com o traçado das seções 2D das formas, os eixos principais de simetria e a leitura das transformações geométricas presentes no conjunto e em cada uma das partes. As dimensões principais estão explícitas nas imagens, outras serão descobertas no momento do traçado.

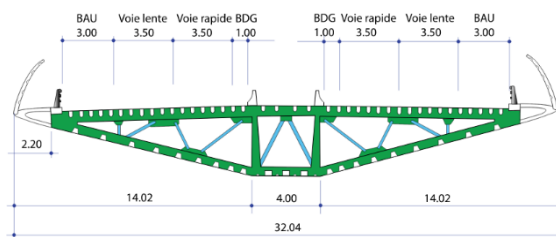


Figura 1 – Arquivo bitmap com o corte do tabuleiro.

Durante o processo de vetorização, os alunos são orientados a respeitar as dimensões explicitadas nas cotas da documentação, assim como as relações geométricas de simetrias e congruências observadas, independentemente se o traço coincidir com a imagem *bitmap* de fundo. As dimensões que não estão explicitadas no desenho são medidas na imagem bitmap utilizando os comandos de medição e arredondadas. Pede-se para que os alunos estabeleçam um critério para o arredondamento dos valores e que procurem lembrar o conjunto de dimensões adotadas por eles, pois posteriormente servirão para realizar diversas operações de transformação.

Com os eixos e contornos traçados, as imagens de fundo passam a servir como uma referência visual e o que deve ser cuidado, a partir desse momento, é o traçado dos objetos geométricos vetoriais, que já possuem medidas e restrições geométricas estabelecidas. A questão da precisão geométrica, costuma ser um outro ponto crítico do processo, que aumenta de dificuldade conforme a modelagem avança, passando das formas planas em 2D para o posicionamento e modelagem espacial.

A escolha dos objetos computacionais iniciais e o tratamento das suas propriedades (*Region*, *Polylines 2D* ou *Polylines 3D*?, abertas ou fechadas?) são trabalhados ao longo do processo, que se caracteriza por ir se clarificando e revelando aos poucos para os alunos. Pelo fato de ainda não possuírem conhecimento sobre o processo, eles podem avaliar as consequências computacionais dessas escolhas somente nas etapas posteriores. Desde um ponto de vista puramente gráfico, as consequências de escolher um ou outro objeto não são evidentes ao princípio do processo.

As dimensões da corda e da flecha do eixo da pista do viaduto, que foram medidas no Google Earth, permitem definir o arco inicial sobre o qual se sustentará o posicionamento dos pilones e os arcos dos contornos interno e externo do tabuleiro. A diferença dimensional do raio entre estes dois arcos é um ponto que deve ser sempre lembrado aos alunos, pois embora o corte do tabuleiro apresente simetria axial (desconsiderando-se a inclinação), os comprimentos dos elementos tubulares das grades de proteção e das bordas do viaduto serão levemente diferentes para cada lado da pista, uma vez que os raios interno e externo são diferentes. Essa diferença dimensional não é visualmente detectável. Embora a projeção superior de cada módulo de pista seja um trapézio, os ângulos internos são muito próximos de 90°, aproximando-se à forma retangular. Tal situação, que não é percebida visualmente, requer muita atenção na hora de modelagem e, se feita incorretamente, acarretará consequências de não encaixe entre as partes.

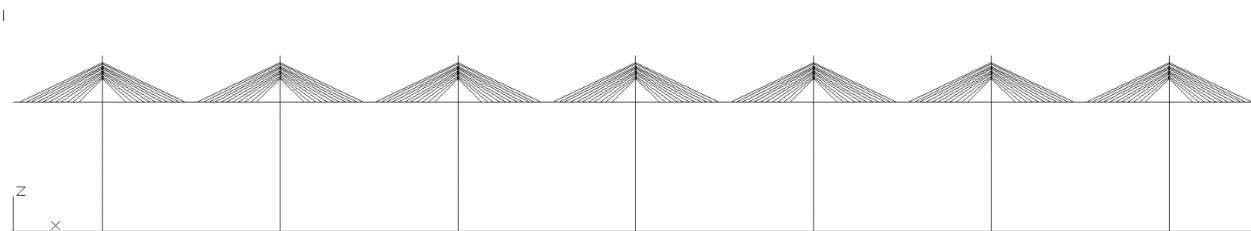


Figura 2 – Esquema lineal do viaduto.

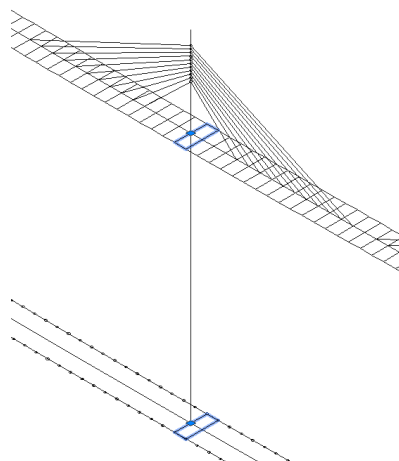


Figura 3 – Esquema geral dos componentes.

Organização do modelo.

A organização do modelo em camadas e a sistematização de nomenclaturas, também são aspectos que costumam ser compreendidos aos poucos. Menos pela complexidade dos comandos necessários para materializar tal organização, mas, principalmente, pela dificuldade de perceber quais benefícios posteriores poderão ser alcançados ao definir uma estratégia de segmentação alinhada com critérios de nomenclatura de partes construtivas. Em estágios iniciais de formação, essa questão metodológica não é clara o suficiente para que os alunos possam escolher uma opção metodológica, mas é significativa para lograr objetivos mais amplos, que vão além da pura modelagem formal. Ela está associada ao tratamento da informação computacionalmente organizada que permitirá o aproveitamento de comandos para extração de quantitativos ou processos de reformulação formal mais eficientes. Ao princípio, os alunos costumam trabalhar em uma camada, mas aos poucos vão compreendendo as vantagens e necessidades de estabelecer uma segmentação organizada por classes de elementos. Aproveitasse a oportunidade para introduzir o conceito BIM, no qual os elementos construtivos devem ser modelados dentro de uma estrutura de classes e categorias rigidamente estabelecidas, seja pela ferramenta de modelagem (modelo proprietário) ou pela estrutura de dados *Industry Foundation Classes* IFC (modelo neutro universal). Nesse momento, volta a aparecer o problema do tipo de objeto utilizado, mas desta vez com muita mais complexidade pela quantidade de classes de objetos e propriedades. Ter um conhecimento robusto da estrutura de classes é uma condição necessária para poder alimentar o modelo geométrico corretamente. Este aspecto é introduzido de modo teórico, pois os grupos estão trabalhando dentro da liberdade de um modelo de informação que eles mesmos estão estruturando em AutoCAD.

O ambiente de intercâmbio.

Organizados em grupos, os alunos são estimulados a utilizarem repositório de dados localizados na nuvem, no qual possam guardar e intercambiar os modelos e as partes realizadas pelos integrantes do grupo. É sugerido o ambiente do *Autodesk Drive* no qual podem alocar e visualizar o modelo

3D, além de armazenar documentos complementares ao processo (relatórios, planilhas, imagens etc.).

Impressão 3D como auxiliar de compreensão espacial.

A impressão 3D das partes do viaduto é utilizada como recurso facilitador para a leitura e compreensão dos posicionamentos espaciais das formas bidimensionais. Foram preparadas impressões 3D das partes principais em diversas escalas. As peças podem ser impressas com uma dimensão máxima de 23 cm. Como a altura do pilone de apoio guarda uma proporção de quase 3:1 em relação ao mastro e de quase 8:1 em relação à largura do tabuleiro, para imprimir numa escala comum que permitisse montar o conjunto pilone-tabuleiro-mastro, sem perder detalhes formais importantes mantendo um tempo de impressão de poucas horas, foi estipulada uma escala de 1:675. Mesmo assim, o pilone de sustentação teve de ser impresso em duas partes. Essa divisão, ocasionada por condicionantes de impressão (alheias às condicionantes estruturais reais da obra) obriga o processo de modelagem a fazer um desvio, para colocar o elemento de encaixe, que não existe na realidade. Portanto, a impressão 3D é tratada como uma forma adicional de representação com as suas peculiaridades. É importante que tais fatores sejam esclarecidos para que os alunos, ao manipular o objeto impresso em 3D, entendam que estão manipulando um objeto físico que continua sendo uma representação, com limites e potencialidades para mostrar e ocultar diversos aspectos da realidade.

Por exemplo, as peças impressas em 3D permitem que eles tenham uma melhor compreensão do efeito plástico de rotação espacial que existe na forma do fuste do pilone. Tal efeito é logrado pela inversão dimensional do maior eixo das seções transversais. Na base do pilone o eixo LO é o de maior tamanho, medindo 27 m, sendo o eixo NS de 17 m o menor, já no topo, a situação se inverte, pois o LO passa a ser o eixo menor da seção, medindo 10 m contra os 16 m do NS que passa assim a ser o maior (figura 4). Outro efeito espacial importante, que foi trabalhado e cuja leitura fica evidente e reforçada pela impressão 3D, é a continuidade visual que existe entre o pilone e o mastro. As formas em V e V invertido, simétricas e bipartidas de ambas as partes, deve ser lida como um conjunto articulado e visualmente controlado pela coincidência dos aparelhos de apoio e as frestas presentes em seu corpo. Esses detalhes são importantes, pois expressam os aspectos estéticos singulares do viaduto, qualificados por Virlogeux como leveza, clareza e simplicidade estrutural (VIRLOGEUX, 2009).

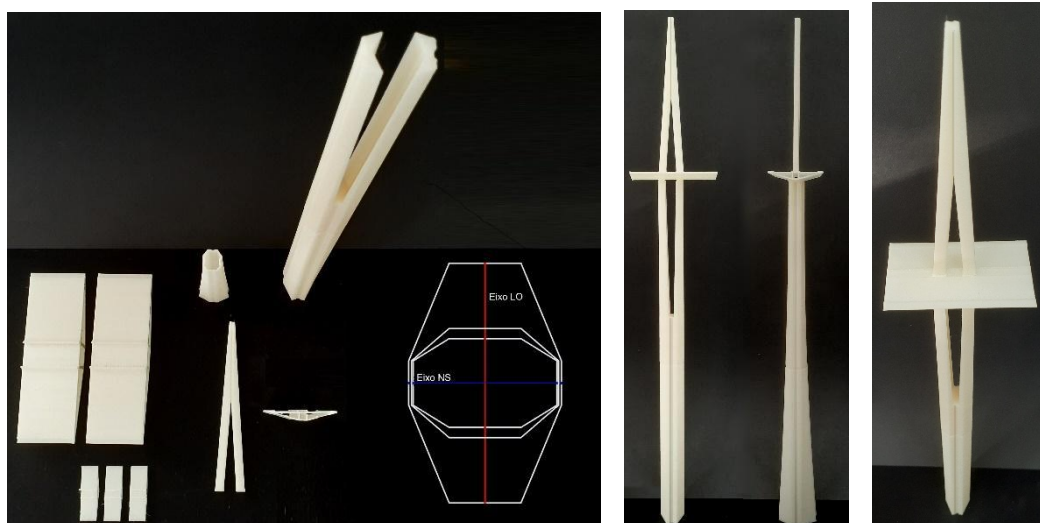


Figura 4 – Elementos impressos em 3D.

Eis aqui um problema de modelagem que não pode ser esquecido. Ao modelar em 3D os alunos aprendem a segmentar o problema em partes, dividindo cada elemento do viaduto em arquivos, blocos ou famílias independentes que facilitem futuras operações de atualização do detalhamento do

modelo e que melhorem a performance do computador. No entanto, não podem deixar de se atentar para o fato de que a obra de arte é um todo com coerência morfológica interna. Nesse sentido, quando se tenta montar a maquete com as peças concretas, essa realidade, que já estava presente no modelo virtual, aparece com mais força. O exercício de modelagem de uma obra existente é uma forma de ensinar a ver, aproximando os alunos ao entendimento das intenções plásticas que os autores tiveram. Outro aspecto que ressalta na impressão 3D é a curva que define o contorno da vista LO, cuja tangência acontece numa linha vertical que toca o topo do pilone e que é reforçada por todo o sistema de frestas que percorrem as faces do pilone. Essa curva, que deve ser construída durante a modelagem, costuma ser motivo de dúvidas gerais.

Automatização do processo.

O processo de exploração da solução formal definitiva do Viaduto Millau, relatado por Virlogeux, mostra que os estudos que chegaram à solução adotada para a obra, construída entre 2001 e 2005, aconteceram durante a década de 1990. Como destaca Virlogeux, não foi apenas a definição de uma obra de arte singular, senão que também foi definido o desenvolvimento de um novo sistema construtivo que permitisse a sua materialização (VIRLOGEUX, 2009). Esse extenso percurso projetual, teve muitas tomadas de decisão, sustentadas por dados de diversas simulações de alinhamentos planialtimétricos de traçado ou de análise estrutural. Na disciplina procura-se destacar este fato e vinculá-lo com os processos de exploração formal parametrizada e automatizada em linguagens de programação específicas, que facilitem a busca exploratória e as mudanças de rumo projetual. Embora o desenvolvimento de um algoritmo de modelagem não seja exigência da disciplina, acredita-se que é uma boa oportunidade para introduzir e confrontar métodos de modelagem manual orientada por comandos, seguido pelos alunos, com um outro automatizado, no qual são criados mecanismos algorítmicos para iniciar o processo de concepção. Esses mecanismos são criados para controlar, registrar e vincular os dados projetuais desde as etapas iniciais, para serem enriquecidos e retrabalhados em etapas posteriores. O algoritmo, não é pensado como a resolução de problemas específicos de cálculo, mas nele ficará expressa a formalização da obra singular. Pode-se dizer que neste caso, por se tratar de uma obra existente, trata-se de um exercício de engenharia reversa.

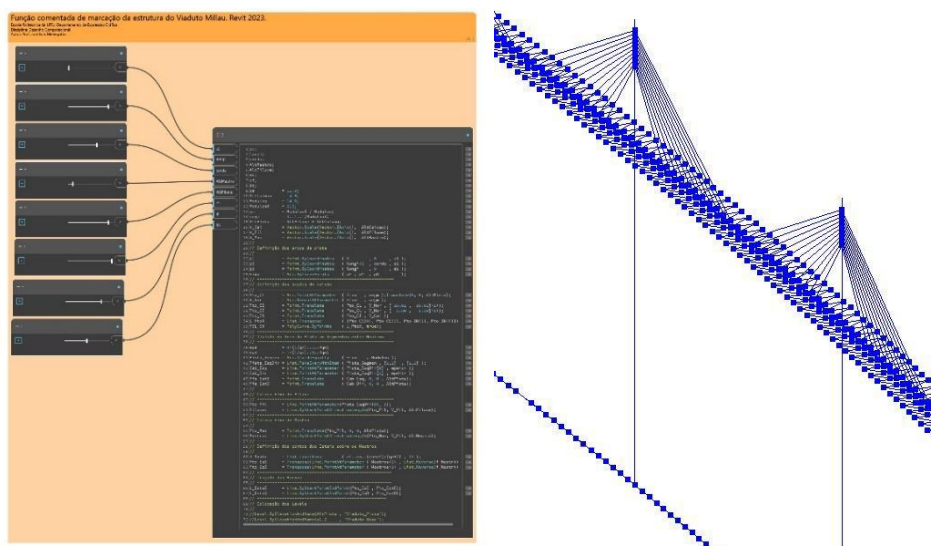


Figura 5 – Definição do conjunto em Dynamo.

Durante o semestre, são apresentadas e disponibilizadas duas macros escritas em linguagem *DesignScript* dentro do ambiente de programação Dynamo e disponibilizadas para os alunos em ambiente Github. Eles já têm familiaridade com os parâmetros formais, pois os utilizaram para desenvolver manualmente os elementos. Também experimentaram diversos problemas, como a dificuldade no lançamento das linhas de eixo dos estais, que devem articular-se com o mastro e a

modulação do tabuleiro e, que devido à curvatura do viaduto, se conectam à pista em uma sucessão de planos levemente deslocados entre si (figura 6). Embora as turmas tenham acesso ao código, o processo algorítmico é apresentado conceitualmente, tentando mostrar que o raciocínio espacial de segmentação e ordenamento que direcionou as operações de modelagem manual, compartilha muitos dos aspectos do raciocínio algorítmico, uma vez que a forma do viaduto é a mesma, tanto para o processo manual como para o algorítmico. Entretanto, destaca-se que as decisões tomadas durante a modelagem manual desaparecem no próprio ato de modelagem, ficando apenas implícitas no modelo, enquanto o raciocínio formal do projeto, algoritmicamente orientado, permanece explicitamente registrado e, portanto, preservado na formulação do código. O algoritmo inicial, expresso no código, poderá ser utilizado ao longo da vida útil do projeto, além de ser enriquecido por diversos aspectos de cálculo e análise estrutural, desenvolvidos durante, em etapas posteriores ou após a conclusão do processo (integração com ontologias, catalogação das partes para manutenção e monitoramento futuro etc.).

Procura-se destacar que os algoritmos geradores sejam entendidos como ferramentas cujo uso não se esgotará no momento da solução do problema, mas que deveriam permanecer como parte integrante da documentação que acompanhará o objeto construído ao longo de toda a sua vida útil. O algoritmo, nesse sentido, é tão singular como a própria obra.

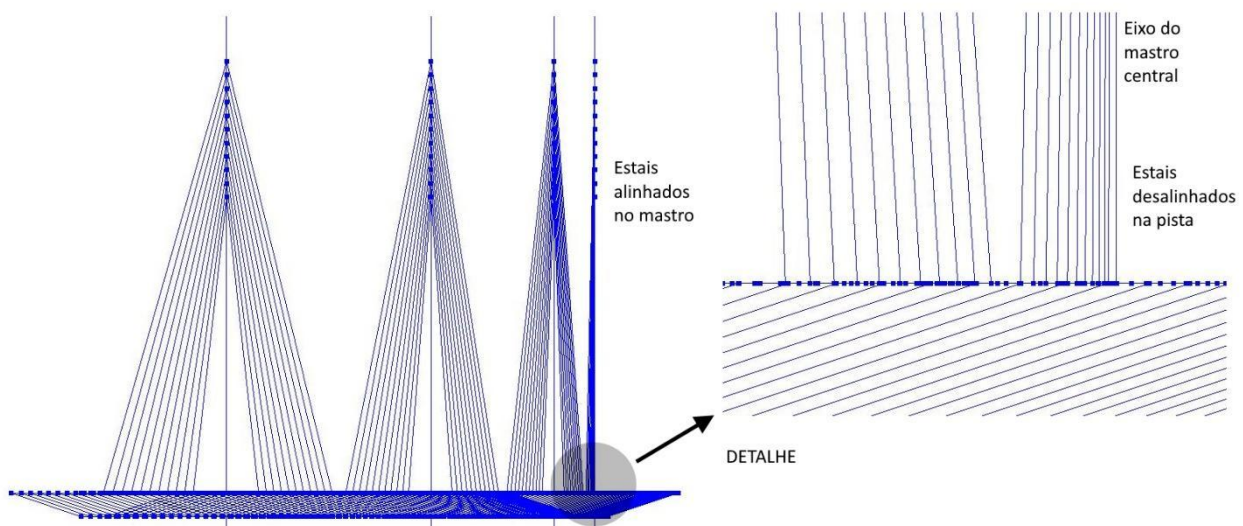


Figura 6 – Alinhamentos dos estais

Conclusões

Como avaliação final da disciplina, solicita-se que os grupos apresentem, além do modelo 3D, um relatório em que conste a estrutura de organização estabelecida para a modelagem, acompanhada por uma autoavaliação sobre todo o processo. Isto é, que façam a crítica sobre o método de modelagem estabelecido pelo grupo. Pede-se que eles examinem e tentem responder as questões que suscitaram mais dúvidas durante todo desenvolvimento do trabalho e que, se acharem necessário, explicitem quais outros caminhos poderiam ter sido seguidos para realizar a modelagem. Ou seja, que mentalmente revisem o processo. A intensão do relatório é deixar em evidência que o resultado que obtiveram se fundamenta na estruturação do processo, mais do que no objeto final materializado pela sequência de comandos em arquivo *dwg*. Com relação ao processo automatizado, a expectativa em relação ao interesse dos alunos é baixa, pois quando perguntados no início do semestre se gostam de programar a maioria das respostas é negativa. Embora já tenham tido contato com o tema em outras disciplinas, em geral, menos de 10% dos alunos demonstram algum interesse pelas técnicas de programação, mas por se tratar de ferramentas computacionais, o tema não pode ser esquecido. Talvez este seja o maior desafio didático perseguido pela experiência, introduzir e mostrar as vantagens da adoção de processos de projeto algoritmicamente orientados, substituindo os processos de projeto computacional orientados manualmente por comandos.

Referências

BARISON, M. B. Uma alternativa metodológica para introduzir recursos computacionais no ensino de Desenho Geométrico e Geometria Descritiva. Semina: Ci. Soc./Hum., v.17, Ed. Especial, p. 28-37, nov. 1996.

BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. Ensino de BIM: Tendências atuais no cenário internacional. Gestão e Tecnologia de Projetos, v. 6, n. 2, dez., 2011.

BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. A tool for assisting teachers in planning BIM courses. In: International Conference On Computing In Civil And Building Engineering. 2014, Orlando... Proceedings... Miami: ASCE, 2014.

CHECCUCCI, E. S; AMORIM, A. L. Método para análise de componentes curriculares: identificando interfaces entre um curso de graduação e BIM. Parc. Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 5, n. 1, p. 6-17, jan./jun. 2014

BARISON, M. B. Introdução de Modelagem da Informação da Construção (BIM) no currículo: uma contribuição para a formação do projetista. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2015. 387 p.

MENEGOTTO, J.L. ;ARAUJO, T.C.M. O desenho digital. Técnica e arte. Ed. Interciência, 2000.

VIRLOGEUX, M. The viaduct over the river Tarn at Millau. 7th Austroads Bridge Conference, Auckland, New Zealand, 2009, 23P. Disponível em: <https://vdocuments.mx/the-viaduct-over-the-river-tarn-at-millau-m-virlogeux-viaduct-over-the-river.html?page=13>