

PROJETO GEOMÉTRICO DE UMA BARRAGEM: UMA EXPERIÊNCIA NO ENSINO DE DESENHO TÉCNICO

Eduardo Toledo Santos
Cheng Liang Yee
João Roberto Diego Petreche
Sérgio Leal Ferreira
Luiz Reynaldo A. Cardoso

Escola Politécnica da USP / PCC

Resumo: este artigo apresenta uma experiência desenvolvida pela equipe de professores de Desenho para a Engenharia da Escola Politécnica da USP (EPUSP) junto aos 750 alunos ingressantes em todos os cursos desta instituição.

Desde o ano de 1991, as disciplinas de Desenho ministradas na EPUSP são realizadas com o apoio de sistemas CAD. Há alguns anos, introduziu-se a prática de projeto nos cursos como forma de motivação dos alunos e aplicação prática dos conhecimentos por eles adquiridos. Uma das experiências que têm sido realizadas com sucesso é o projeto geométrico simplificado de uma barragem, de acordo com requisitos especificados, e a sua construção na forma de maquete em escala.

A principal novidade deste tema, em relação ao anterior - projeto de uma ponte - é a possibilidade de utilização da potencialidade de sistemas CAD/CAE no auxílio ao projeto através do cálculo de propriedades geométricas tais como área e volume. Esta ferramenta é então utilizada para atingir os parâmetros de projeto estabelecidos ou melhorar seu desempenho.

Os resultados deste trabalho são bastante compensadores com relação aos seus objetivos, alcançando grande motivação dos alunos e desenvolvendo sua capacidade de trabalho em equipe, criatividade, habilidade de solução de problemas e emprego de técnicas adequadas de projeto e análise tridimensionais.

1. Introdução

Semestralmente, propõe-se aos 750 alunos da disciplina Desenho para Engenharia da Escola Politécnica da USP a realização de um projeto como forma de atingir-se uma série de objetivos educacionais.

O desenvolvimento do projeto envolve não só conteúdos de conhecimento tradicionais de disciplinas de Desenho Técnico como geometria cotada, vistas ortográficas e desenvolvimento de superfícies, mas também habilidades e atitudes relacionadas ao trabalho em equipe, criatividade e planejamento, entre outras.

Tradicionalmente, num semestre o projeto proposto tem características dinâmicas e, no outro, projetam-se estruturas estáticas. Nos últimos anos, tem-se escolhido como objeto

de projeto dinâmico um carrinho motorizado que deve cumprir uma tarefa. As tarefas têm variado desde percorrer trajetórias retilíneas, parando dentro de áreas demarcadas, até percursos curvos e em zigue-zag, sempre sem qualquer interferência do aluno após a partida [1].

Os projetos estáticos variam desde temas abertos (torres, viadutos, etc.) até pontes [2] e, mais recentemente, barragens. Este trabalho versa sobre esta última experiência que, acreditamos, se mostrou a mais adequada até o momento.

2. Objetivos do Projeto

Os principais objetivos da proposta de um projeto aos alunos da disciplina de Desenho para Engenharia envolvem os seguintes aspectos:

- A) desenvolvimento da criatividade: a criatividade é uma das características mais desejáveis num engenheiro. A solução do problema proposto exige o desenvolvimento de propostas e estratégias criativas. O fato do problema ser razoavelmente aberto, proporciona maior espaço para a criatividade;
- B) trabalho em equipe: a competitividade interna de nossos alunos tende a levar ao individualismo e à dificuldade de trabalhar em grupo. O projeto procura estimular desde o início do curso esta forma de trabalho, induzindo à organização, flexibilidade, tolerância, capacidade de conciliação, além de estímulo à liderança. A limitação do número de alunos por grupo (máximo de quatro), procura garantir que todos os elementos participarão das atividades do projeto;
- C) motivação: sabe-se que as taxas de evasão escolar nos cursos de Engenharia são bastante elevadas, particularmente nos primeiros anos. Daí a necessidade de motivar-se os alunos, apresentando-lhes tão cedo quanto possível conteúdos relacionados às disciplinas profissionalizantes e diretamente relacionadas com a Engenharia;
- D) prática de projeto: os alunos passam a entender e, principalmente, a praticar a metodologia de trabalho do engenheiro. Também de especial interesse para a disciplina é a aplicação dos diversos tipos de desenho (esboço, perspectivas, esquemas, diagramas, vistas ortográficas, etc.) em cada fase do processo de projeto;
- E) expressão oral e escrita: uma das áreas em que os alunos mais apresentam deficiência ao se formarem, a habilidade de expressão oral, é exercitada pela apresentação de uma palestra pelo grupo de alunos, onde as características do projeto desenvolvido são mostradas ao professor e colegas de turma. A expressão escrita é praticada na elaboração de um relatório final, completo, por escrito;
- F) análise com ferramentas CAE: apesar de simples, fazendo uso apenas de recursos de cálculo de áreas e volumes, os alunos têm contato com ferramentas computacionais de auxílio ao projeto, experimentando na prática como sua disponibilidade afeta o desenvolvimento do projeto e facilita esta atividade;

- G) modelamento tridimensional: todo o projeto é realizado em 3 dimensões (modelamento sólido). Os alunos ganham familiaridade com esta técnica que deverá estar em uso mais pleno num futuro de 5 anos, quando estarão se formando.
- H) desenvolvimento de superfícies: deverá ser confeccionada uma maquete através do desenvolvimento plano de sua superfície, plotagem em escala, recorte, dobradura e colagem. Os alunos vêem na prática uma das aplicações desta técnica;
- I) geometria cotada/topografia: a informação inicial básica do projeto é um mapa topográfico. Os alunos devem entendê-lo e saber como trabalhar com a informação nele representada;
- J) planejamento e organização: o desenvolvimento completo do projeto proposto é bastante trabalhoso e demanda que os alunos se organizem e planejem adequadamente suas atividades. Esta experiência ajuda ao estudante ingressante a perceber a importância das ferramentas de planejamento no trabalho do engenheiro.

3. Descrição do Projeto

Propõe-se aos alunos que, em grupos pequenos (3 a 4 integrantes), façam o projeto geométrico de uma barragem fluvial que deverá represar as águas de um rio e interligar duas estradas marginais. Este projeto deverá ser desenvolvido utilizando-se sistema CAD 3D através do modelamento sólido da barragem/ponte e cálculo de suas propriedades geométricas. Além disso, deverá ser construída uma maquete da barragem, a ser inserida em uma maquete do terreno, em escala 1:200. A maquete pode ser construída de forma simples através do desenvolvimento de superfície do modelo projetado. Este é plotado em escala, transferido para papel cartão, recortado, dobrado e colado.

Aos alunos é fornecido um arquivo digital contendo um mapa topográfico de um trecho do rio (Figura 01) e algumas especificações que deverão ser obedecidas:

- a) inclinação máxima da estrada sobre a crista da barragem: 10% (vide Figura 02)
- b) largura mínima da crista da barragem: 20 m;
- c) pressão média máxima da barragem (peso próprio) sobre o leito do rio: 20.000 kgf/m²;
- d) densidade média do material da barragem: 2.500 kg/m³;
- e) cota do espelho d'água, após enchimento total: 19 m;
- f) raio de curvatura mínimo da concordância da barragem com as estradas: 20 m (vide Figura 03);
- g) os trechos em curva dos acessos sobre a barragem devem ser horizontais (vide Figura 03);
- h) a secção transversal da barragem (até a cota 20m) deve ser obrigatoriamente trapezoidal, pois não serão exigidos cálculos estruturais.

Como parâmetro de otimização básico do projeto, deve-se **minimizar o volume** total da barragem.

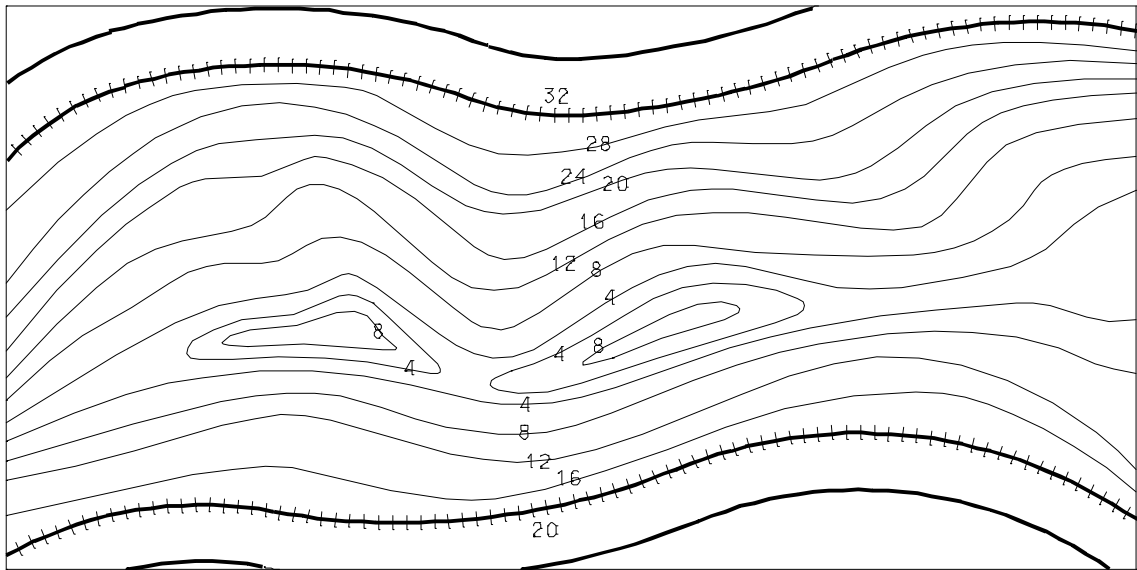


Figura 01 - Mapa topográfico de trecho de rio

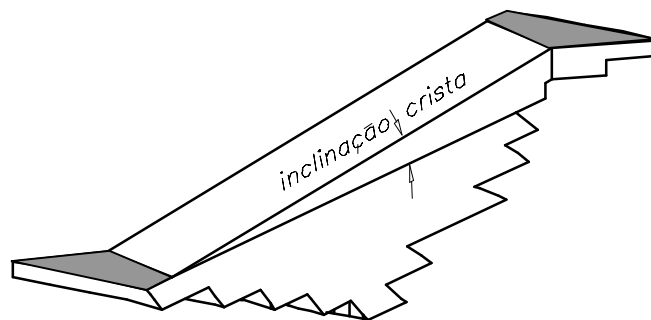


Figura 02 - Exemplo de modelo de barragem simplificada

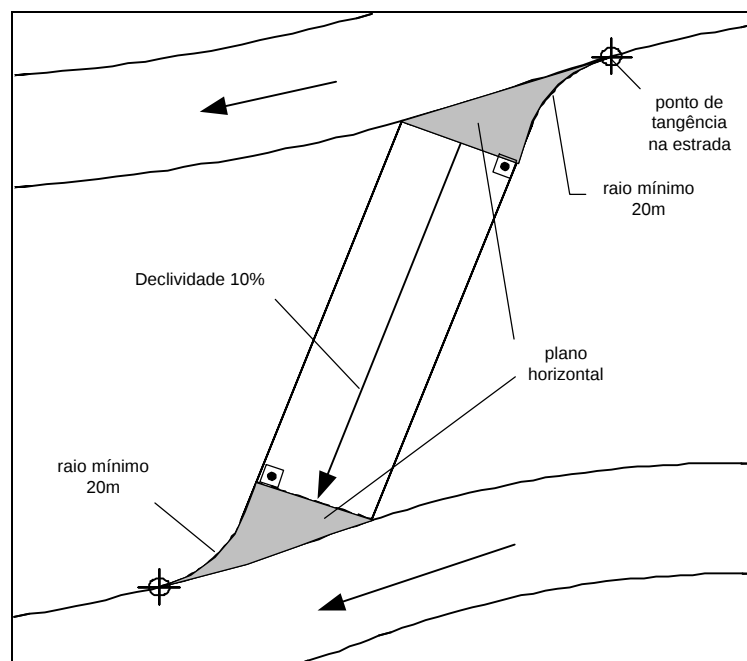


Figura 03 - Alguns requisitos de projeto da barragem

A proposta do projeto é que os alunos devem não só modelar a barragem em sistema CAD, mas também utilizar os recursos de apoio à Engenharia (CAE) disponíveis no pacote adotado, para otimizar o volume do modelo sólido produzido, respeitando as especificações de projeto. Espera-se que os alunos desenvolvam uma estratégia criativa para determinar a (potencialmente) melhor posição para a barragem no trecho de terreno fornecido e, posteriormente, façam um ajuste fino para otimizar o volume. Esta é a principal diferença em relação ao projeto adotado anteriormente nesta disciplina [2], em que solicitava-se o projeto de uma ponte, limitando o uso do CAD apenas ao projeto geométrico, sem exploração de suas demais potencialidades.

Devido à necessidade de grande precisão em relação aos dados fornecidos em relação à topografia, pois deve ser construída uma maquete com encaixe perfeito no terreno, convencionou-se que as curvas de nível do mapa fornecido não devem ser interpoladas. Assim, a maquete do terreno foi construída em degraus de modo que os alunos podem gerar um modelo 3D exato do terreno. A maquete (Figura 04), gerada a partir do mesmo arquivo distribuído aos alunos, foi confeccionada em isopor e cartolina, apresentando erros inferiores a 2mm em suas cotas. Os alunos não tiveram acesso à esta maquete em nenhum momento antes da apresentação final.



Figura 04 - Maquete do terreno construída em isopor e cartolina

Solicita-se também aos alunos que entreguem relatórios parcial e final. Juntamente com a entrega do relatório parcial, os integrantes de cada grupo devem fazer uma apresentação pública sobre seu projeto.

O relatório parcial deve conter os seguintes itens:

- a) definição do problema: neste item, espera-se que os alunos cheguem à conclusão de que o principal problema a resolver não é como modelar a barragem ou acertar pequenos detalhes referentes aos requisitos de projeto ou mesmo a construção da maquete. Devem perceber que o maior desafio será desenvolver uma estratégia adequada para encontrar a melhor posição no leito do rio para construir a barragem de forma a minimizar seu volume total. A experiência

mostrou que, caso esta definição não esteja corretamente focada neste problema, as soluções tendem a ser insatisfatórias;

- b) fluxograma de atividades e cronograma de desenvolvimento do projeto: a construção do fluxograma permite aos alunos perceber a interdependência entre as atividades do projeto. O cronograma, baseado no fluxograma, serve para que as tarefas sejam adequadamente planejadas e divididas entre os membros da equipe, procurando otimizar a execução e planejar o uso do tempo.
- c) estratégias de solução propostas: tendo sido corretamente definido o principal problema, espera-se nesta fase intermediária que os alunos já tenham vislumbrado diferentes estratégias de solução para o problema.
- d) critérios de seleção adotados: neste item, os alunos devem mostrar quais foram os critérios que justificaram a escolha de uma das estratégias indicadas no item anterior. Normalmente adota-se como ferramenta uma tabela de decisão, com pesos para cada critério relevante.

No momento da entrega do relatório parcial, todo o planejamento e estratégia de solução já deverão estar definidos, restando apenas sua a execução prática, que será apresentada no relatório final.

O relatório final deve conter as vistas ortográficas principais da barragem, perspectiva ilustrativa do conjunto barragem+terreno+espelho d'água na cota nominal e mapa de locação. Pede-se também o desenvolvimento da superfície da barragem, utilizado para confecção da maquete. O modelo sólido da barragem assim como sua projeção horizontal devem ser entregues em arquivos em disquete. Estes arquivos são usados para verificação do cumprimento dos requisitos de projeto e volume da barragem.

A nota final do projeto é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{NP} = 0,1 \times (\text{MT}) + 0,2 \times (\text{OR}) + 0,3 \times (\text{MQ}) + 0,4 \times (\text{DC})$$

onde:

MT - média da turma;

OR - originalidade;

MQ - nota baseada na avaliação da maquete;

DC - nota de documentação, baseada nas avaliações dos relatórios, dos desenhos e do modelo 3D;

A maquete será avaliada pelo seguinte critério: $\text{MQ} = 0,5 \times \mathbf{a} + 0,5 \times \mathbf{b}$, onde

- a) precisão do encaixe no terreno e acesso às estradas (ruim/aceitável/bom, média da avaliação por dois professores);
- b) volume total; (nota em classificação por faixas comparativas com os volumes de todas as turmas).

Conforme expresso na equação, ocorrerá uma competição entre os projetos visando a obtenção do menor volume possível para a barragem. A média de cada turma também influenciará na nota individual dos projetos de forma a minimizar-se os aspectos negativos da competição, favorecendo pelo menos a colaboração entre os grupos de uma mesma turma.

Os requisitos pedidos são tais que torna impossível a construção de uma barragem perpendicular às estradas, sendo este mais um grau de liberdade a determinar. Os demais são a localização da barragem no leito do rio e a inclinação das rampas de aterro da barragem à jusante e montante.

4. Resultados

Os testes de encaixe das maquetes das barragens no terreno (Figura 05) são feitos no decorrer de uma semana inteira já que tem-se, em média, 200 grupos. Os professores verificam previamente o volume e se os requisitos principais do projeto foram obedecidos, através da análise dos modelos em CAD. Observando o mapa de locação, o professor insere a maquete da barragem no modelo do terreno, avaliando a perfeição do encaixe. Para reduzir a subjetividade desta avaliação, ela é feita independentemente por dois professores que classificam o encaixe num critério de apenas 3 níveis (ruim/aceitável/bom).



Figura 05 - Testes de encaixe das maquetes das barragens no terreno

A maioria dos grupos consegue desenvolver satisfatoriamente o projeto. Não encontramos grande variação entre os volumes finais apresentados.

A construção da maquete exige cuidado para que o encaixe no terreno seja perfeito. No entanto, sua confecção pelo processo de desenvolvimento de superfície é simples e, portanto, adequado aos estudantes de Engenharia já que estes normalmente não têm, nem terão, treinamento formal para esta atividade, como os alunos de Arquitetura, por exemplo.

Alguns alunos desenvolvem estratégias engenhosas para determinar a localização no leito do rio que permitirá obter a barragem de menor volume, tais como a interpolação de uma função que correlaciona a área da seção de vários pontos do rio com o volume de uma barragem em forma de paralelepípedo. A região no entorno do ponto de mínimo global desta função é estudada em maior detalhe. A área das seções é facilmente obtida no sistema CAD/CAE. Após esta determinação, é feita a otimização do ângulo das rampas de aterro, agora usando o CAE para cálculo de volume, correlacionado com a declividade das rampas. O volume da barragem é minimizado, obtendo-se a maior declividade das rampas que ainda permite uma área de apoio da barragem sobre o leito do rio que respeite a máxima pressão estipulada.

5. Conclusões

De modo geral, a aceitação do projeto pelos alunos é boa, com alguns trabalhos excelentes, tanto do ponto de vista geométrico como do ponto de vista da estratégia de solução. Entre os comentários feitos pelos alunos, podemos destacar: a possibilidade de aplicar os conceitos aprendidos no curso, vivência de trabalho em equipe e prática do processo de engenharia.

O projeto de uma barragem, com ênfase na precisão geométrica e otimização de parâmetros, faz parte das abordagens adotadas nas disciplinas de Desenho da EPUSP para tentar aumentar a motivação dos alunos, consolidar o aprendizado e incentivar as habilidades e atitudes tais como criatividade, responsabilidade e trabalho em equipe. Animados pelo desafio, muitos alunos fizeram um estudo geométrico detalhado empregando as ferramentas geométricas e computacionais aprendidas nas disciplinas de Desenho. A solução do problema é feita de modo conceitual e quantitativo. A motivação e a conscientização da importância dos tópicos do Desenho Técnico foram claramente observadas. O impacto didático do projeto na disciplina e no curso foi, portanto, extremamente positivo.

Notas:

- a) o sistema CAD/CAE utilizado em 1998 foi o AutoCAD R.12 + AME. Em 1999 foi utilizado o Microstation SE + Modeler.
- b) é mantido um *website* (<http://www.pcc.usp.br/Graduação/PCC2100>) de apoio à disciplina e ao projeto contendo todas as informações relevantes, novidades, arquivos e FAQ sobre o projeto. Este recurso foi bem recebido pelos alunos e importante para manter uma comunicação ágil com os 750 estudantes do curso.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio da CAPES (PROIN) e da FAPESP.

Bibliografia

- [1] Kawano, A., Santos, E. T., Petreche, J. R. D., Bastos, P. R. M., Ferreira, S. L.: Aplicação da Técnica de Projeto em uma Disciplina de Desenho Técnico, 1º Encontro de Educadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.
- [2] Cheng, L. Y. ; Petreche, J. R. D.; Santos, E. T.; Ferreira, S. L.; Azevedo, L. R. Projeto Geométrico de uma Ponte no Ensino do Desenho Técnico, XXVI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE 98), CD-ROM, Out. 1998, São Paulo.