



PROJETO MECÂNICO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DE ALTA TENSÃO NA DISCIPLINA DE DESENHO

Eduardo T. Santos – eduardo.toledo@poli.usp.br

Rovilson Mafalda – rovilson.mafalda@poli.usp.br

Liang Y. Cheng – cheng.yee@poli.usp.br

João R. D. Petreche – joão.petreche@poli.usp.br

Brenda C. C. Leite – brenda.leite@poli.usp.br

Sergio L. Ferreira – sergio.leal@poli.usp.br

Luiz R. A. Cardoso – luiz.cardoso@poli.usp.br

Escola Politécnica da USP, Depto. de Engenharia de Construção Civil (PCC) - LabCAD
Av. Prof. Almeida Prado, trav. 2, n.83 – Cidade Universitária
05508-900 – São Paulo, SP

Alexandre Kawano – alexandre.kawano@poli.usp.br

Escola Politécnica da USP, Depto. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos (PMR)
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária
05508-900 – São Paulo, SP

Resumo: *Este artigo apresenta a proposta de um novo projeto didático adotado com sucesso na disciplina de Desenho dos cursos de Engenharia da Escola Politécnica da USP. Assim como nas propostas anteriores desta atividade pedagógica, adotada há vários anos na disciplina, esta mais recente visa à motivação dos alunos ingressantes bem como o desenvolvimento das comunicações oral, gráfica e escrita e da metodologia de projeto, além da prática dos conteúdos teóricos ministrados na disciplina. Por outro lado, esta nova proposta originou-se da preocupação ligada ao fato de que nem sempre os conteúdos ministrados aos alunos eram aplicados da forma pretendida. Mais especificamente, porque sistemas CAD 2D e 3D são usados como ferramentas de desenho na execução dos projetos, havia a tendência de resolver em três dimensões os problemas propostos, evitando o uso das ferramentas tradicionais de representação (superfícies topográficas, geometria cotada, etc.) que pretendíamos que praticassem. A atividade proposta trata do projeto mecânico simplificado de uma linha de transmissão de alta tensão que foi capaz de atingir todos os objetivos didáticos estabelecidos.*

Palavras-chave: *Ensino por projetos, Desenho técnico, Linha de alta tensão, Superfícies topográficas, Motivação.*

1. INTRODUÇÃO

As disciplinas de Desenho para Engenharia da Escola Politécnica da USP adotam, já há vários anos, o desenvolvimento de um projeto como estratégia de motivação para os alunos ingressantes de todas as áreas, bem como para ilustrar aplicações práticas do conteúdo da disciplina. Não menos importante é a prática do trabalho em equipe e o desenvolvimento de habilidades de comunicação oral, escrita e gráfica proporcionadas por esta atividade. Os projetos são sempre desenvolvidos com uso de sistemas CAD 2D e 3D e resultam em desenhos plotados e/ou maquetes.

A aprendizagem baseada em projetos não é um conceito novo. Suas primeiras

experiências surgiram no início do século passado mas, apesar disso, ainda não contam com um modelo ou teoria universalmente aceitos (SYNTETA, 2002). A abordagem utilizada na atividade didática relatada neste trabalho não segue formalmente nenhum modelo, porém apresenta alguns dos resultados típicos da aprendizagem baseada em projetos: motivação, oportunidades para aprendizagem multidisciplinar e aprendizagem relevante pelo estabelecimento de conexões com a vida fora da sala de aula. As tarefas no projeto são abertas e sua complexidade se aproxima daquelas do mundo real. Estudantes têm a liberdade de escolher diferentes estratégias e enfoques na resolução dos problemas propostos.

Em anos anteriores, o tema do projeto envolveu pontes, barragens e links de microondas (SANTOS et al., 2003), sempre com uma abordagem simplificada o suficiente para que estudantes em seu primeiro semestre no curso de engenharia pudessem desenvolvê-lo, porém com complexidade o bastante para motivar os alunos e despertar seu interesse pela metodologia de projeto e forma de pensar em engenharia.

A formatação dos projetos antecedentes, apesar de cumprirem satisfatoriamente a maioria dos requisitos didáticos estabelecidos, pecava ao não forçar o aluno a exercitar adequadamente o uso das ferramentas gráficas ministradas no curso (geometria cotada, superfícies topográficas, etc.). Isso se dava porque os alunos podiam imediatamente transformar o problema que recebiam em formato 2D para uma representação tridimensional e executar todas as operações necessárias ao projeto em 3D.

Desde 2002, o projeto enfoca a locação de torres e cabos de uma linha de transmissão de alta tensão. As vantagens deste tema são sua relação com muitas outras áreas da engenharia além da Elétrica e a forma como o conteúdo da disciplina pode ser abordado no projeto.

As atividades dos alunos estão relacionadas à metodologia de projeto de engenharia (definição de problema, estratégia de solução, geração e seleção de alternativas), normas técnicas, levantamento de perfil topográfico, cálculo de flecha de condutores elétricos, locação de torres e modelamento tridimensional.

O projeto atualmente proposto pela disciplina de desenho, descrito neste trabalho, tem características multidisciplinares na medida em que procura integrar horizontalmente as várias disciplinas oferecidas no 1º semestre letivo e também devido à sua temática se relacionar com várias áreas da engenharia. Além da própria disciplina de Desenho, cuja ementa inclui superfícies topográficas e modelamento 3D, as demais disciplinas podem usar os seguintes temas correlacionados em seus conteúdos:

- **Cálculo Diferencial e Integral:** cálculo de comprimento de curvas, cálculo da curva catenária (co-seno hiperbólico), expansão em séries, etc;
- **Álgebra Linear:** sistemas de equações, cálculo vetorial de forças;
- **Física:** cálculo de tensões nos cabos e suportes, formação da catenária, etc;
- **Computação:** programa para cálculo iterativo para auxílio na otimização de caminhamentos e para cálculo do comprimento dos cabos considerando a temperatura;
- **Introdução à Engenharia:** metodologia de projeto;
- **Química Tecnológica Geral:** corrosão e revestimentos.

Todas estas disciplinas, a maioria de caráter básico, podem aproveitar em seus cursos a motivação dos alunos em relação ao projeto, apresentando exemplos e solicitando exercícios que remetem a questões ligadas às linhas de transmissão elétrica.

Visando motivar a todos os alunos, que optarão pelas várias áreas da engenharia oferecidas na Escola Politécnica ao final do primeiro ano, oferecem-se as seguintes argumentações sobre a relevância do tema abordado em suas áreas de preferência:

- **Elétrica:** a linha de transmissão de alta tensão obviamente trata-se de uma infraestrutura elétrica, tendo suas diretrizes básicas especificadas por profissionais da Engenharia Elétrica;

- **Civil / Minas / Naval:** estas áreas são contempladas neste projeto por envolver, como ferramenta básica, superfícies topográficas que são um recurso de uso cotidiano e fundamental nestas modalidades da Engenharia. A engenharia civil ainda aparece no cálculo estrutural das fundações das torres (aspecto não tratado neste projeto). A mesma ferramenta é também extensamente usada pela Engenharia Naval na representação dos cascos de embarcações;
- **Mecânica:** os cabos e as estruturas metálicas das torres de sustentação apresentam, consideradas as tensões envolvidas, problemas importantes tratados na área da Engenharia Mecânica, assim como ocorre em relação às vibrações a que estão submetidas pela ação do vento;
- **Ambiental:** o impacto ambiental causado pela implantação de uma linha de transmissão de alta tensão pode ser bastante grande, contabilizando-se aspectos ligados ao desmatamento de extensas regiões, interferência eletromagnética, vibrações mecânicas, ruído, danos à saúde de seres vivos por exposição à radiação eletromagnética e até estéticos (GOULTY, 1990). A Engenharia Ambiental deve estar envolvida nestes casos;
- **Química / Materiais / Metalurgia:** apesar de não estarem diretamente envolvidos neste projeto simplificado, estes ramos da Engenharia são de fundamental importância no desenvolvimento e projeto dos cabos elétricos, o item mais importante numa linha de transmissão. Diferentes materiais são necessários para a produção de um cabo que reúna características eletromagnéticas e de condutividade adequadas para transmissão de correntes e tensões muito elevadas, reduzindo perdas elétricas e dissipação de calor, ao mesmo tempo em que apresenta baixo peso, adequado coeficiente de expansão térmica, baixa fluência e grande resistência à tração e às intempéries que causam corrosão;
- **Produção:** apesar de que a implantação de uma linha de transmissão aproxima-se mais de um processo de construção do que de fabricação, objeto típico da Engenharia de Produção, este projeto envolve um processo de otimização, aspecto de particular interesse dos profissionais desta modalidade.

Dentre as inúmeras simplificações adotadas para que este projeto pudesse ser realizado por alunos recém ingressos no curso de engenharia, pode-se citar os seguintes aspectos que não são considerados em sua execução:

- Forças exercidas pelo **vento**, cujo cálculo leva em conta a velocidade média histórica dos ventos na região, as alturas dos condutores e rugosidade do terreno, entre outros fatores;
- **Aquecimento** do cabo pela passagem de corrente elétrica implicando dilatação dos condutores e conseqüente aumento da flecha (diminuição da altura ao solo);
- Aquecimento provocado pela **temperatura** local e exposição dos condutores ao sol;
- **Deformações** plásticas dos condutores e **fluência** metalúrgica (cabos sob tração por longos períodos sofrem alongamentos permanentes), bem como trações devidas à **pré-tensionamentos**;
- **Cargas pontuais** eventuais como carro de manutenção suspenso na linha, etc.;
- **Vibrações e tensões dinâmicas** nos cabos que podem causar ruptura por fadiga;
- **Cálculos estruturais** para projeto das torres e fundações;
- **Cálculos elétricos** de cabos e isoladores;
- **Desníveis laterais** no terreno;
- **Múltiplos condutores e cabo pára-raios.**

Outra importante simplificação adotada é que foi estabelecido que a tração horizontal (T_0)

nos cabos deve ser a mesma em todas as seções de tracionamento. Isso faz com que a forma dos cabos em todos os vãos seja sempre a mesma catenária, usualmente aproximada por uma parábola, definida pela equação (1). Esta simplificação permite que o traçado das curvas dos cabos possa ser feito através de um “gabarito”, conforme proposto por LABEGALINI et al. (1992). Aqueles autores sugerem a construção do gabarito em acrílico, para traçado manual do projeto. No caso em pauta, com execução em sistema CAD, a curva é simplesmente desenhada uma vez e copiada para a posição desejada sempre que necessário, eliminando-se os trechos que ultrapassem o vão a ser vencido.

$$f = \frac{p \cdot A^2}{8 \cdot T_0} \quad (1)$$

onde:

f : flecha (m);

p : peso linear por metro de cabo (kgf/m);

A : comprimento do vão (m);

T_0 : componente horizontal da tração no cabo (kgf).

Não obstante as simplificações, necessárias para que o projeto seja factível por alunos ingressantes, o projeto ainda conserva grande conteúdo prático de Engenharia, suficiente para oferecer uma visão geral da metodologia e características do trabalho do engenheiro e ser fonte de motivação aos alunos.

Todo o projeto é realizado usando o pacote CAD 2D e 3D *MicroStation* da Bentley, Inc.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

O projeto é composto de duas partes. A primeira parte é realizada usando-se apenas ferramentas 2D que, como enfatizou-se anteriormente, é o aspecto que motivou a proposta deste novo projeto. A segunda parte manipula os mesmos elementos anteriores, agora em três dimensões.

A descrição completa do projeto é estabelecida num enunciado de 17 páginas. Destacam-se, a seguir, seus aspectos mais relevantes.

2.1 Objetivo e avaliação

O objetivo principal é a execução do projeto mecânico de uma linha de transmissão de alta tensão entre dois pontos pré-definidos. O projeto inclui a definição do caminhamento da linha, o posicionamento de todas as torres e a definição da altura destas, sempre obedecendo às normas técnicas e demais restrições estabelecidas no enunciado.

A avaliação do projeto tem dois componentes: a nota de documentação (DC) e a nota de desempenho (DP). A nota DC avalia toda a documentação (relatórios e plotagens) entregue com o projeto. São avaliadas a correção dos procedimentos, a completude dos dados produzidos e a qualidade da apresentação gráfica e do texto.

A nota de desempenho de um grupo é dada, inicialmente, pela classificação do custo total de seu projeto em relação aos das outras equipes. Grupos que cometeram erros no projeto que comprometem a validade do custo calculado são classificados imediatamente após todos os demais. Como forma de inspirar a consciência ecológica dos alunos, após a classificação por custo total, os grupos são divididos em 5 faixas e, dentro de cada faixa, é feita uma

reclassificação em função do “impacto ambiental” do projeto. O “impacto ambiental” foi definido simplesmente como a soma das áreas urbana e florestal desapropriadas. Considerando que o custo financeiro de desapropriação das áreas florestais é o menor dentre todas as áreas, este critério exige que se leve em conta tal impacto antes de simplesmente optar-se por sempre construir a linha passando por tais áreas.

2.2 Dados fornecidos e parâmetros pré-estabelecidos

Para a primeira parte do projeto, é fornecido aos alunos um arquivo CAD 2D representando uma folha de desenho formato A0 (Figura 1) contendo, em sua parte superior, uma mapa topográfico (com curvas de nível de metro em metro, escala 1:2500 quando plotado em folha A0) onde estão marcados dois pontos (A e B), extremidades da linha de transmissão a ser projetada. No mesmo mapa estão indicados os usos do solo (urbano, rural ou florestal) de cada área. O trecho representado apresenta um relevo montanhoso, um rio, rodovias e ferrovia. A parte inferior desta folha, apresentada em branco, é reservada ao desenho do perfil do caminhamento onde será feito o projeto de locação das torres.

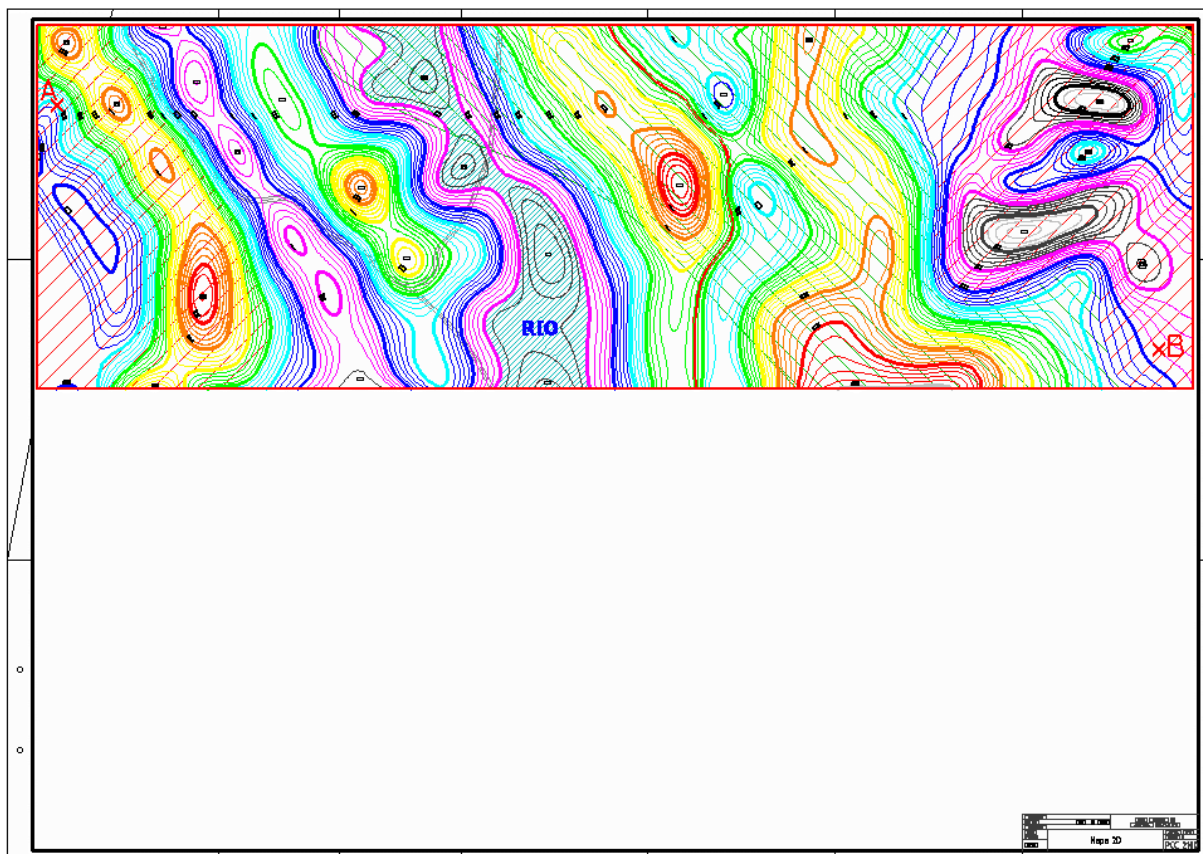


Figura 1 – Mapa topográfico fornecido aos alunos em formato digital (CAD).

Além do mapa topográfico, os seguintes dados pré-definidos são fornecidos aos grupos de projeto:

a) tensão de operação da linha (138 kV); b) quantidade de condutores; c) peso linear por metro de cabo; d) carga de ruptura do cabo (T_{rup}); e) comprimento útil de cabo por bobina; f) custo de cada bobina de cabo; g) alturas mínima e máxima das torres e seu incremento padrão; h) desvio máximo na mudança de direção horizontal da linha; i) custo por metro de altura de torre instalada, de cada tipo (sustentação e ancoragem); j) largura da faixa de

segurança sob a linha; k) coeficiente de segurança (k_s), onde ($T_{max}=k_s.T_{rup}$); l) tração horizontal de trabalho (T_0) e; m) ângulo mínimo para travessia de rodovias ou ferrovias.

Adicionalmente, são fornecidas duas tabelas: uma contendo as alturas mínimas de segurança especificadas pela norma NBR:5422/85 para os vários tipos de uso do solo para a tensão adotada de 138kV e a outra contendo o custo de desapropriação por metro quadrado em cada uma dos três tipos de área da região do projeto (urbana, rural e florestal).

Dois tipos de torre podem ser usados no projeto: de sustentação e de ancoragem. O primeiro tipo exerce apenas força vertical sobre os cabos. Os cabos dos dois vãos adjacentes à este tipo de torre exercem sobre ela a mesma tração, mantendo-a equilibrada. Por esta razão, a estrutura das torres de sustentação é menos resistente e mais barata. Pelo mesmo motivo, não se pode mudar a direção da linha junto a uma torre de sustentação. As torres de ancoragem, mais caras, podem suportar a tração dos cabos em ambos os lados e ainda permitir desvios de direção na linha. Os cabos de uma linha de transmissão só podem ser emendados mecanicamente junto a torres de ancoragem.

Após a entrega dos relatórios e desenhos da primeira parte do projeto pelos alunos, são fornecidos a eles mais dois arquivos digitais (CAD-3D): um com a superfície topográfica do terreno em três dimensões e outro contendo um conjunto de módulos de torres (Figura 2).

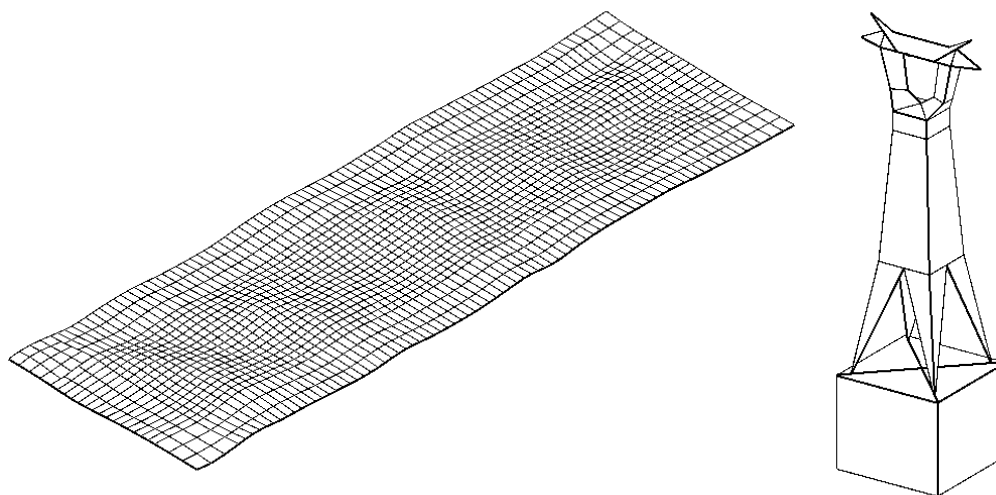


Figura 2 – Superfície 3D do terreno e torre montada (base + corpo + cabeça).

Note-se que para a obtenção das curvas de nível do mapa topográfico, primeiro foi gerada a superfície do terreno em três dimensões. Através de suas interseções com um conjunto de planos horizontais obtém-se as curvas de nível, que são então cotadas e projetadas num único plano, formando o mapa 2D. Assim, há total coincidência entre as versões 2D e 3D do terreno.

2.3 Desenhos e relatórios solicitados

Na parte 2D do projeto, os alunos devem entregar os seguintes itens:

- a) estudo preliminar;
- b) caminhamento da linha projetada com indicação da locação das torres;
- c) perfil topográfico (interpolado) do caminhamento, com indicação das torres, cabos, desvios, uso do solo, etc.;
- d) tabelas de custo.

Para a parte 3D, os seguintes itens são solicitados:

- a) perfil topográfico real do caminhamento;
- b) perspectiva do terreno com torres e cabos lançados de acordo com o projeto;
- c) relatório final.

A seção seguinte detalha os procedimentos para execução de cada item solicitado.

3. EXECUÇÃO DO PROJETO

3.1 Estudo preliminar

Neste item, os estudantes exercitam a metodologia de projeto de engenharia e devem planejar 3 itens:

- a) definição do problema (nível estratégico): define como a equipe se colocou o problema, isto é, qual a meta que pretende alcançar. Uma meta bem estabelecida deve ter três atributos: ser atingível, ser verificável e apoiar decisões. Neste item, a tendência normal dos estudantes é definir metas do tipo “*projetar uma linha de transmissão de alta qualidade, com o menor custo e o menor impacto ambiental*”. Esta meta não é atingível, já que, neste caso, custo e impacto ambiental são aspectos conflitantes. Também não é verificável pois nunca se poderia ter certeza absoluta se a meta foi atingida. Aqui os alunos também devem ser alertados sobre o uso inconseqüente de termos como “alta qualidade”, “menor custo” e “menor impacto”, sem a correspondente definição objetiva destes termos. Paralelamente, da forma como foi colocada, esta meta não permite a priorização entre os vários aspectos envolvidos (qualidade, custo, impacto ambiental), dificultando a tomada de decisões;
- b) tática(s) proposta(s) para resolver o problema (nível tático): este item descreve as táticas que serão usadas para atingir a meta definida no item anterior. É o aspecto mais criativo de todo o projeto. Táticas bem definidas vão permitir decidir como estabelecer um caminhamento para a linha. Respondem perguntas do tipo “é melhor atravessar morros ou contorná-los?”, “é melhor passar por terrenos planos ou com grandes vales?”, “é melhor usar torres altas ou baixas?”, “vale a pena fazer um desvio na linha ou seguir em linha reta?”;
- c) procedimentos detalhados para execução das táticas (nível operacional): este item descreve detalhadamente os passos e procedimentos para executar as táticas definidas no item anterior. Aqui existem dois tipos de procedimento: aqueles que são particulares da estratégia adotada pela equipe e outros operacionais (procedimentos gráficos e cálculos, na maior parte), que provavelmente serão executados da mesma forma por todas as equipes. Ambos devem ser detalhados. O objetivo principal deste item é obrigar os alunos a pensar como vão implementar, na prática, as táticas que propuseram. Em relação aos procedimentos de caráter operacional, relacionados diretamente à disciplina de Desenho, permitem aos professores revisar os conhecimentos dos alunos, alertando-os para algum procedimento incorreto antes da entrega do projeto final.

3.2 Caminhamento

O caminhamento da linha de transmissão projetada é uma linha traçada no mapa topográfico mostrando o caminho que a linha deve seguir no terreno, ligando os pontos extremos (A e B) indicados. Sobre esta linha será posteriormente marcada a posição de cada torre. O caminhamento indica o eixo central da linha e é determinado fazendo-se uso das táticas definidas no item anterior e tendo a meta estabelecida como guia para as decisões. Ao executar o item seguinte, pode-se decidir por fazer alterações no caminhamento.

3.3 Perfil topográfico e locação de torres

O perfil topográfico mostra um corte vertical do terreno ao longo do caminhamento retificado, com indicação das torres (localização, altura em escala, código e tipo), cabos (somente o central), mudanças de direção da linha (com indicação do ângulo), uso do solo, obstáculos (estradas, ferrovias) e acidentes geográficos (Figura 3). Para permitir visualização adequada, a escala vertical do perfil é 10 vezes maior que a horizontal (tipicamente, escala vertical 1:250 e horizontal 1:2500).

O perfil é construído transportando-se as distâncias horizontais entre cada cruzamento do caminhamento com as curvas de nível para o gráfico, na respectiva cota. Esta série de pontos é então interpolada com uma curva (*B-Spline*, por exemplo), tudo no sistema CAD.

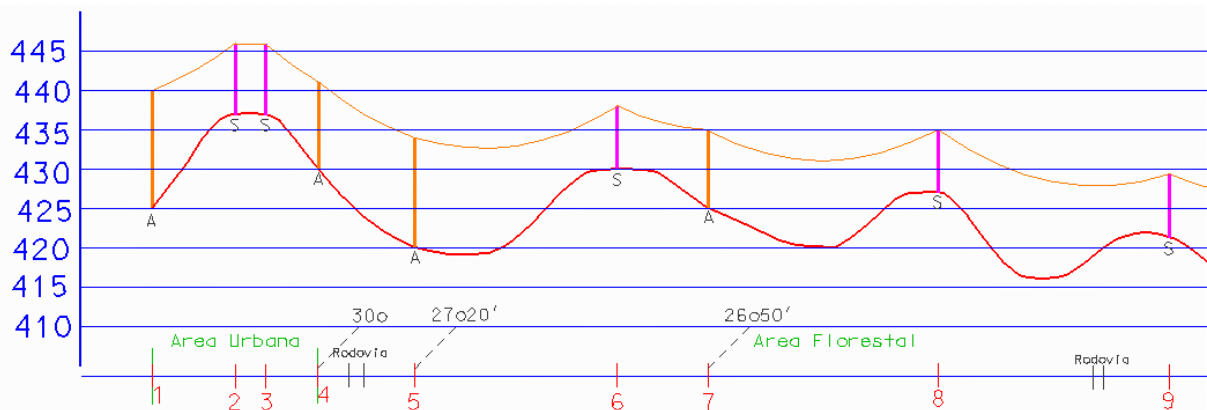


Figura 3 – Trecho de perfil topográfico interpolado com alocação de torres e cabos.

Com o perfil traçado, passa-se à etapa de alocação de torres com o uso do “gabarito” mencionado anteriormente e da tática definida para escolha da altura das torres a usar em cada vão. Veja LABEGALINI et al. (1992) e SANTOS et al. (2003) para descrições mais detalhadas do uso do gabarito.

3.4 Tabelas de custo

Os alunos devem preparar 3 tabelas de custo preenchendo uma planilha eletrônica. A primeira faz o cálculo do custo das torres utilizadas e explicita o motivo da opção por cada uma das torres de ancoragem (mudança de direção do caminhamento ou fim do cabo de uma bobina). A segunda tabela calcula o comprimento de cabo utilizado em cada vão e registra a quantidade de bobinas de cabo consumidas. Sobras de cabo podem ser reutilizadas em outros vãos. Na mesma tabela são computados os custos dos cabos e de instalação. Finalmente, a terceira tabela registra a área total desapropriada em cada tipo de terreno (urbano, rural e florestal), calculando o custo total de desapropriação e o “impacto ambiental” (soma das áreas urbana e florestal desapropriadas). Os custos das três tabelas são adicionados, produzindo o custo total do projeto, usado para classificação.

3.5 Perfil topográfico real

O perfil topográfico real (não interpolado a partir das curvas de nível) deve ser obtido pela determinação da interseção do terreno 3D com planos verticais posicionados sobre o caminhamento. A superfície do terreno deve ser deformada para que sua escala vertical seja 10x maior, assim como o do perfil interpolado. Todas estas operações são facilmente realizadas com auxílio de sistema CAD 3D. O perfil assim obtido é importado no arquivo 2D



com o perfil interpolado e sobreposto a este para que sejam comparados e evidenciem as imprecisões e eventuais erros de construção.

Os objetivos da geração do perfil topográfico real são: i. fazer com que os alunos percebam a importância da correta interpolação ao traçar o perfil, mostrando a precisão limitada do mapa topográfico e ii. praticar uma das aplicações do modelamento 3D.

3.6 Geração de perspectiva do terreno com torres e cabos

O objetivo desta etapa é a “construção virtual” do projeto em 3D e sua visualização. Seguindo o projeto planejado na primeira parte da atividade, os alunos montam cada uma das torres usadas e as posicionam no terreno 3D. Os cabos são obtidos do arquivo 2D de seus projetos e (após mudança da escala vertical) são colocados em seus respectivos vãos. Uma imagem *renderizada* é gerada e salva para compor o relatório.

3.7 Relatório final

É solicitado que os alunos expliquem neste relatório cada desvio significativo ($> 0,5$ metro) entre o perfil interpolado e o perfil real. Normalmente isso ocorrerá por imprecisão da carta topográfica ou devido a erros na construção do perfil interpolado. Adicionalmente, é solicitada uma auto-avaliação individual de cada membro do grupo, além de comentários e sugestões.

Na auto-avaliação individual, cada integrante do grupo deve relatar como foi sua contribuição ao desenvolvimento do projeto.

No item de comentários e sugestões ao projeto, a equipe deve citar ao menos um ponto negativo e um ponto positivo do projeto em relação à sua utilidade didática no curso e sugerir melhorias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de projeto aqui apresentada tem sido aplicada há 2 anos para todas as turmas (750 alunos) de alunos ingressantes nos cursos de Engenharia da Escola Politécnica da USP. A motivação percebida é bastante boa e especialmente importante devido à grande carga de disciplinas básicas a que estes alunos estão submetidos. Estes estudantes normalmente estão ávidos por sentir o “sabor” da engenharia e, normalmente, só são expostos a disciplinas profissionalizantes mais tarde em seus cursos.

Assim como os demais temas que adotamos no passado, este também fomentou a competitividade entre os grupos, promovendo a motivação, mas foi adequadamente contraposta pelo trabalho em equipe dentro de cada grupo, onde prevalece a cooperação. Da mesma forma, a metodologia de projeto de engenharia e as comunicações oral, escrita e gráfica foram exercitadas.

Como novidades, destacamos a introdução de aspectos éticos e de consciência ambiental, além da grande interdisciplinaridade.

Por fim, conseguiu-se a devida ênfase no uso das ferramentas tradicionais (2D) para manipulação de superfícies topográficas, permitindo que os alunos exercitassem os conteúdos vistos em sala de aula, o que não era conseguido com a forma dos projetos anteriores. A reconstrução do projeto em três dimensões em sua segunda parte, permite aos alunos avaliarem boa parte do potencial do CAD-3D, abrindo possibilidades para que procurem integrar esta ferramenta em seu cotidiano profissional, quando formados.

Como único ponto negativo, detectamos o fato de os alunos se impressionarem excessivamente com a complexidade aparente do problema, evitando esforçar-se por sua



compreensão completa nos primeiros momentos, o que normalmente causava um certo atraso na execução das atividades. Este atraso foi enfrentado através da solicitação escalonada de relatórios parciais, forçando a um andamento mais adequado dos trabalhos ligados ao projeto.

Agradecimentos

Ao aluno Daniel Takeo Haraguchi pelo auxílio na confecção dos mapas 2D e 3D.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Norma NBR5422/85 - Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Site de Revisão da Norma: <<http://www.cemig.com.br/nbr5422/portal.htm>>. Acesso em 06 fev. 2003.

GOULTY, G. A. **Visual Amenity Aspects of High Voltage Transmission**. Taunton, England: RSP Press / John Wiley & Sons, 1990.

LABEGALINI, P. R.; LABEGALINI, J. A.; FUCHS, R. D.; ALMEIDA, M. T. **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

SANTOS, E. T. et al. Da Geometria Cotada ao Modelamento 3D: Projeto Didático. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 16, 2003, Santa Cruz do Sul. **Anais**. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2003. (CD-ROM).

SYNTETA, P. **Project-Based e-Learning in higher education: the model and the method, the practice and the portal** (Ph.D. Proposal). Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education, Université de Genève, 2002.

MECHANIC PROJECT OF A POWER TRANSMISSION LINE IN AN ENGINEERING DRAWING COURSE

Abstract: *This paper presents a proposal for a new didactic project successfully adopted in the Engineering Drawing courses of the Polytechnic School of USP. Like its predecessors, this pedagogic activity aims to motivate the freshmen and develop their oral, graphic and written skills, and their project methodology, as well as to practice the theoretical contents taught in the course. On the other hand, this new proposal has grown from the concern about the fact that the students did not always apply some concepts the way intended. Specifically, due to the fact that 2D and 3D CAD systems are used as drawing tools for executing the projects, the students readily transformed the problems into a 3D representation, dropping the use of the traditional 2D tools (topographic surfaces) that we would like them to practice. The proposed activity deals with the project of a power transmission line and it was able to fulfill all the didactic requirements intended for it.*

Key-words: *Project-based learning, Engineering Drawing, Power Transmission Line, Topographic Surface, Motivation.*