

Simulação virtual da construção de ponte pelo método de lançamento incremental

Octávio Peres Martins Alcínia Zita Sampaio

Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Instituto Superior Técnico, ICIST
Av. Rovisco Pais, 1000 Lisboa

maxmailbox@yahoo.com

zita@civil.ist.utl.pt

Resumo

O texto apresenta uma aplicação de simulação visual da construção de uma ponte em betão executado pelo método de lançamento incremental do tabuleiro. O modelo interactivo, baseado em tecnologia de realidade virtual, permite a visualização da progressão física do trabalho acompanhando o planeamento requerido neste tipo de obra, a observação da forma de todos os componentes do tabuleiro e o modo de actuação do equipamento inerente à construção. A aplicação de simulação visual foi concebida de modo a permitir o acesso directo e, de um modo interactivo, a qualquer etapa do processo da construção em que se baseia, possibilitando a sua visualização a partir de qualquer ponto e se necessário com retrocessos ou avanços, contribuindo para uma eficaz compreensão do método construtivo apresentado. O modelo inclui diversos níveis de detalhe e sequencia adequado a diferentes níveis de formação, como estudantes de Engenharia Civil ou técnicos de obra.

Palavras-chave

Realidade Virtual, Simulação, Animação, Modelo Educacional, Processo Construtivo.

1. INTRODUÇÃO

O principal objectivo da elaboração do modelo didáctico é o apoio à formação em Engenharia na área de Pontes. O modelo constitui uma contribuição para a divulgação de informação disponível relativa ao método de execução de pontes por lançamento incremental do tabuleiro, através de um registo interactivo de simulação visual das fases constituintes do processo construtivo.

As matérias curriculares, usualmente expostas através de meios tradicionais, como sejam os textos descritivos, os exercícios gráficos, as imagens, as fotografias, os desenhos traçados no quadro ou, mais recentemente, já apresentadas através de dispositivos de multimédia, podem com vantagem ser apoiadas nas novas tecnologias baseadas na modelação tridimensional (3D) e nas ferramentas de realidade virtual (RV). Nesse sentido foram elaborados quatro modelos virtuais didácticos, no âmbito do desenvolvimento da área de Computação Gráfica, actividade em curso na Secção de Sistemas de Apoio ao Projecto, do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, do Instituto Superior Técnico (IST). As aplicações interactivas criadas estão relacionadas com matérias susceptíveis de serem apresentadas de uma forma evolutiva e animada em cenários tridimensionais.

No processo de modelação das aplicações foi necessário estabelecer claramente qual o objectivo da sua criação, pois o tipo de elementos a modelar e o grau de detalhe com que é definido depende da intenção com que o

modelo é construído. Estes serão então definidos em função do tipo de matéria a leccionar e do nível de ensino do formando. A criação de modelos didácticos requer pois conhecimentos técnicos (o que mostrar) e critérios de ordem pedagógica (como mostrar).

Os modelos anteriormente desenvolvidos inserem-se no domínio dos processos construtivos em Engenharia Civil (figura 1). Os exemplos RV criados consideram a execução de uma parede de alvenaria [Sampaio04], de uma ponte pelo método de avanços sucessivos [Sampaio04a] e de uma cobertura [Sampaio08].

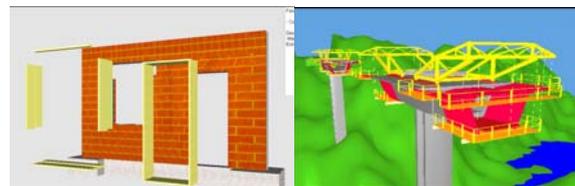


Figura 1. Modelos VR relativos à actividade de construção.

O estudo de base que deu origem à criação do modelo virtual de execução incremental de tabuleiros, que aqui se apresenta, é um trabalho de investigação inserido no âmbito de uma tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil [Martins09].

2. O PROCESSO CONSTRUTIVO

A construção de tabuleiros de pontes pelo método de lançamento incremental existe desde a década de 60. O pro-

cesso consiste na execução de troços sucessivos do tabuleiro numa área de pré-fabricação situada numa das extremidades da obra a realizar, sendo posteriormente empurrados na direcção da directriz da ponte (figura 2). O método requer assim equipamento específico:

- O mecanismo de lançamento, responsável pelo avanço do tabuleiro;
- Os aparelhos de apoio, que facilitam o deslizamento do tabuleiro sobre os pilares;
- O nariz metálico, situado na frente do tabuleiro.



Figura 2. Tabuleiro empurrado na direcção da directriz da ponte.

O lançamento incremental foi desenvolvido para ser aplicado em viadutos sobre vales e montanhas com vãos de cerca de 50m [Reis06]. O método pode ser aplicado igualmente em pontes de betão armado pré-esforçado e em pontes metálicas e mistas. Estima-se que o comprimento mínimo de uma obra de arte que justifique o custo da sua aplicação seja de 200m.

Em pontes, o processo de construção a utilizar tem uma enorme influência sobre a selecção da secção transversal do tabuleiro e, consecutivamente, da solução estrutural [Leonhardt82]. Talvez em nenhuma das obras do domínio da Engenharia de Estruturas, o processo construtivo condicione tanto a concepção como acontece no caso das pontes. A aplicação deste processo construtivo exige que a altura da secção do tabuleiro seja constante ao longo de toda a sua extensão, visto que cada secção passará por diferentes estados do momento-flector. Assim, o tipo de secção apropriado é o caixão, dada a sua grande capacidade resistente a esforços de torção.

3. MODELO VR

O modelo de ponte que se utilizou como exemplo resultou de uma compilação de vários casos relatados na bibliografia consultada e de diversos registos fotográficos disponibilizados por empresas de construção, de forma a ser criado um modelo virtual ilustrativo do procedimento e tecnologia associados ao método [LaViolette07] [VSL77].

Contudo, a secção transversal do tabuleiro, encontros (elementos de apoio nos extremos do tabuleiro), geometria dos pilares e a dimensão do vão central têm como referência o viaduto Itztalbrücke, construído em 2007, perto de Rödental, Alemanha (www.abdnb.bayern.de). Foi considerado apenas um dos tabuleiros do viaduto, apoiado em 6 pilares, apresentando um vão regular de 58m.

3.1 Criação do Modelo Geométrico

A modelação geométrica de todos os elementos necessários foi executada por recurso ao sistema *AutoCad 2008*, da *AutoDesk*. Enquanto que a programação interactiva foi definida através da aplicação computacional *Eon StudioTM*, da *EON Reality* [EON08]. O *Eon* é a uma ferramenta de criação de aplicações interactivas em ambiente 3D. Face ao custo avultado deste tipo de *software*, foi importante o facto do IST possuir as respectivas licenças para a sua utilização, as quais estão disponíveis para docência e investigação no laboratório de Arquitectura do IST (ISTAR). Para estabelecer uma adequada comunicação entre os produtos informáticos *Eon* e o *AutoCad*® foi utilizado o *3ds Max*®, também da empresa *AutoDesk*.

A unidade de comprimento utilizada foi o metro linear. A origem do referencial foi definida no topo da base do estaleiro, representado na Figura 3. Desta forma obtém-se simetria segundo o plano longitudinal vertical e os segmentos serão avançados a partir do plano transversal vertical ($y=0$).

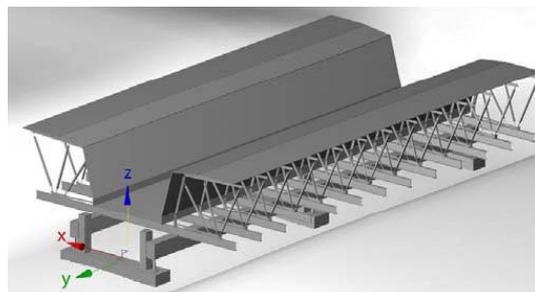


Figura 3. Referencial adoptado para a modelação.

A modelação 3D da maioria dos elementos apresenta uma secção transversal constante como as peças metálicas, cabos de pré-esforço ou cofragem, permitindo assim a sua definição com base na configuração das secções. O nariz metálico tem uma maior complexidade geométrica.

A textura dos materiais foi aplicada sobre os elementos através do *3ds Max*, por incluir grande variedade de materiais e por permitir um grande controlo sobre o aspecto de cada textura (cor, brilho, rugosidade). Essencialmente foram usados dois tipos de materiais, tendo como diferença a utilização de imagens de *mapeamento*. O encontro da ponte é um dos objectos onde foi utilizada a textura com base numa imagem de betão (Figura 4).



Figura 4. Representação de distintas texturas de materiais.

A textura de madeira foi utilizada nas tábuas da cofragem e nos barrote de suporte temporário ao nariz metálico. Os materiais metálicos foram representados com um material baseado em cor, brilho, reflexos e rugosidade. O equipamento hidráulico, apresentado na figura 4, inclui o cilindro exterior, a azul, com uma tonalidade baça e homogénea e o cilindro interior de cor mais clara apresentando um brilho e reflexos próprios de uma material com uma superfície oleada (deslizante).

3.2 Programação da animação interactiva

Uma vez modelados os elementos da ponte e equipamento e dispostos na sua correcta posição em relação referencial de coordenadas seleccionado, procedeu-se à exportação dos modelos para o programa *Eon Studio*. Procedeu-se à aplicação de capacidades de interactividade sobre o modelo geométrico.

O sistema *Eon* permite a inclusão de ambientes envolventes como a simulação de terreno (céu, horizonte e piso) assim como a superfície do curso de água (adicionada de alteração da amplitude da ondulação de forma a simular o movimento do rio, figura 5).



Figura 5. Observação de cenário envolvente incluindo a superfície do curso de água com ondulação.

Foi efectuada uma programação assente em critérios pedagógicos inerentes a uma correcta transmissão dos conhecimentos envolvidos no processo construtivo. Assim toda a actividade é exibida, sequencialmente, com a aproximação da câmara de forma a ilustrar convenientemente o pormenor pretendido sendo de seguida efectuado o afastamento da câmara de modo a contextualizar o detalhe construtivo na obra.

É mostrada inicialmente uma vista panorâmica da situação inicial que inclui os pilares já executados (figura 5) e zona de estaleiro com alguns elementos de base (figura 6). A câmara efectua percursos elucidativos da extensão da obra e da zona de pré-fabricação.

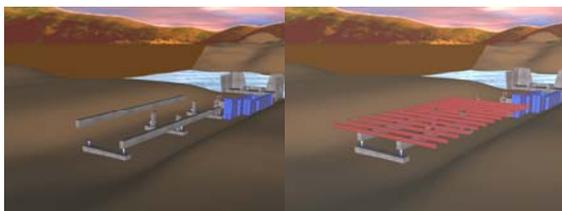


Figura 6. Visualização da zona de estaleiro.

A animação prossegue com a montagem dos elementos iniciais sendo visualizado o movimento de translação

imposto sobre alguns dos elementos para o seu posicionamento final. Outros, são incluídos no cenário, ou seja, são tornados visíveis (figura 6).

São colocadas as vigas de fundação e é montado o apoio exterior composto por 26 elementos (figura 7). Apenas a composição de um desses elementos é exibida em pormenor, pois é suficiente para ilustrar a sua composição sendo desnecessário visual a sua repetição para cada elemento.

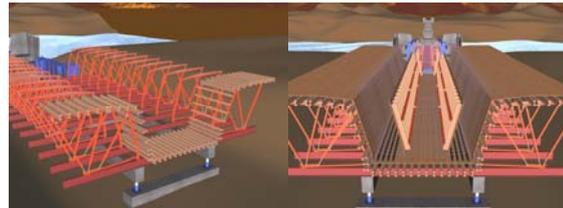


Figura 7. Montagem de cofragem e colocação de armaduras e de cabos de pré-esforço.

A figura 7 ilustra a colocação de barrote de apoio e placas em madeira que formam a cofragem exterior, a inserção de armadura inferiores e das almas e o posicionamento de cabos de pré-esforço recto longitudinal. É visualizada, ainda, a composição da cofragem interior das almas do tabuleiro. Durante a animação, o movimento e o posicionamento relativo da câmara são os adequados quer à observação de detalhes quer à obtenção de imagens de conjunto.

Prossegue-se com a montagem do nariz metálico. São colocadas, no prolongamento do cimbra, as vigas laterais de alma cheia (figura 8), seguindo-se os elementos de travamento horizontais (em cruz) e é mostrada a colocação sequencial das bielas (figura 8). Finalmente é acoplado o elemento hidráulico frontal que permite o ajuste ao pilar durante o movimento incremental de avanço do tabuleiro.



Figura 8. Montagem do nariz metálico.

Concluída a fase de montagem inicial é efectuada a betonagem do primeiro segmento do tabuleiro. É executado o banzo inferior e as almas, é colocado o suporte interno para a cofragem do banzo superior e são dispostas as correspondentes placas de madeira e as armaduras superiores. De seguida, o banzo superior é betonado conjuntamente com as consolas do tabuleiro (figura 9).

O tabuleiro é de seguida empurrado. Nesta fase, o equipamento hidráulico, colocado sob o nariz metálico, é accionado e o segmento é movimentado no sentido dos pilares.



Figura 9. Betonagem do primeiro segmento.

Na proximidade do primeiro pilar o elemento de avanço do nariz é ajustado ao topo do pilar (figura 10).

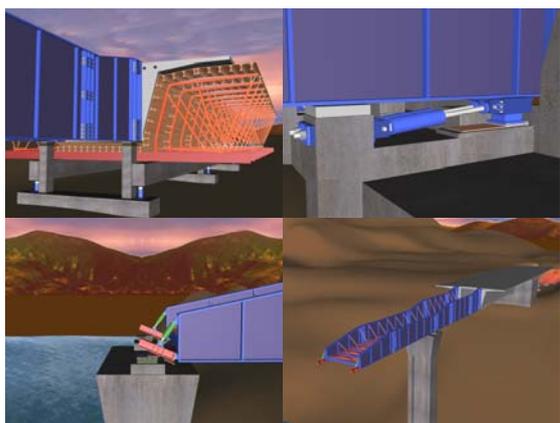


Figura 10. Deslocação do primeiro segmento.

A execução dos restantes segmentos é idêntica à fase inicial, observada com bastante pormenor (figura 11). Na animação controlada a construção dos outros segmentos é mostrada de uma forma mais rápida, até que o nariz metálico atinge o segundo encontro, na outra margem do rio (figura 11).

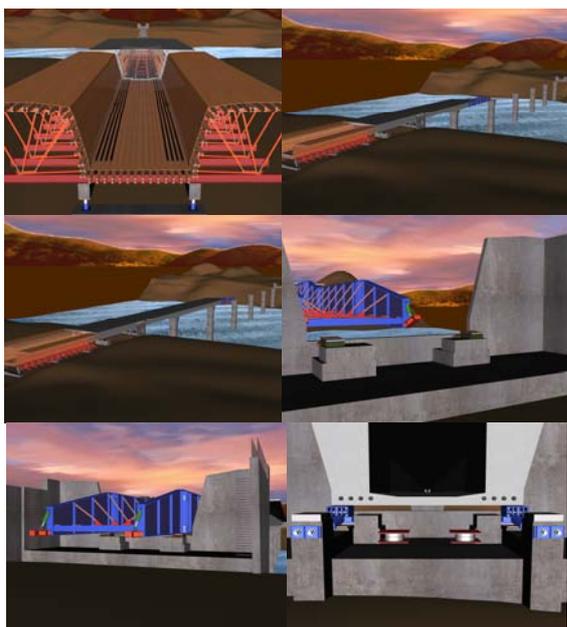


Figura 11. Fases do avanço incremental do tabuleiro.

Na fase final da construção, o estaleiro é desmontado, dando lugar ao aparecimento do aterro, e os apoios definitivos do tabuleiro são colocados (figura 11).

A execução virtual da ponte termina com a apresentação dos acabamentos de forma a transmitir a sensação de construção concluída. Para esta operação, a câmara percorre a ponte, de encontro a encontro, ao mesmo tempo que as guardas, o lambril e o piso betuminoso são colocadas, estabilizando a sua posição num ponto estrategicamente panorâmico da obra (figura 12).

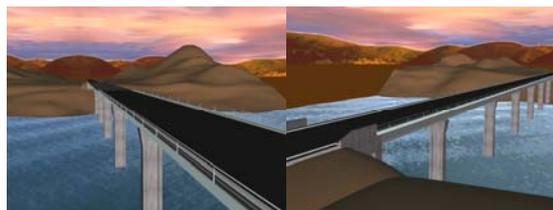


Figura 12. Conclusão da construção da ponte.

3.3 Aspectos didácticos

Durante a animação a câmara percorre as zonas de construção, realizando aproximações, quando a amostragem requer uma observação do modo de actuação do equipamento, ou então, tomando pontos de vista mais afastados de forma a ilustrar o contexto do detalhe ou fase de execução na globalidade da obra.

A programação da localização do ponto de vista para a observação das distintas cenas virtuais teve, assim, em consideração o objectivo didáctico do modelo. Como referido, é uma aplicação interactiva implementada essencialmente para o apoio à formação em pontes.

Adicionalmente foram incluídos no modelo virtual menus (descendentes colocados numa barra superior, figura 13) que acompanham todo o processo construtivo.

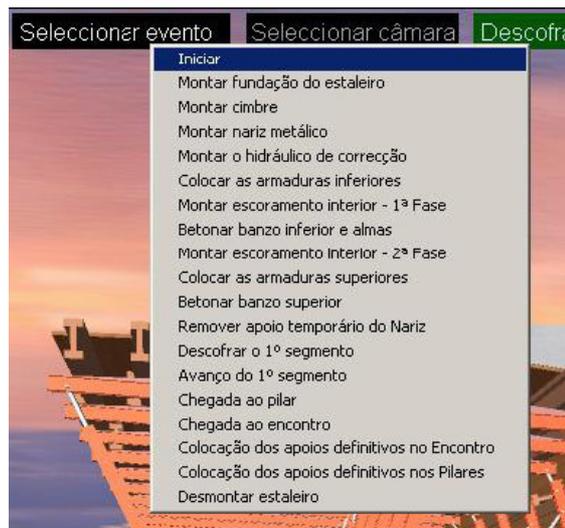


Figura 13. Menu de apoio interactivo.

Em qualquer ponto da animação pode impor-se um retrocesso na sequência e a repetição de detalhes. Assim, o modelo constitui um apoio importante para os alunos, permitindo uma elucidação mais conveniente sobre algum aspecto do método, e a docentes de forma a permitir a exposição da matéria associada com o pormenor e tempo desejado.

Actualmente a aplicação é divulgada através da página da disciplina de Pontes estando disponível para alunos e docentes. O modelo foi ainda incluído num repositório criado no âmbito das actividades do *e-escola*, plataforma desenvolvida na DST/UTL, ficando acessível aos alunos e docentes da escola e de outras instituições relacionadas com a Engenharia Civil. Adicionalmente constitui um suporte digital adequado ao ensino à distância baseado em plataformas *e-learning*.

A aplicação em realidade virtual é dirigida, não só ao ensino, como ferramenta de aprendizagem, mas também a profissionais que de forma directa ou indirecta estejam relacionados à construção de obras de arte.

Para facilitar a partilha deste tipo de fonte de informação, o sistema *Eon* permite que o ficheiro criado possa ser acedido *online*, tendo sido essa, uma das características principais na selecção deste software. Tendo o ficheiro da aplicação final resultado com tão reduzidas dimensões (4mb) e com uma qualidade gráfica visivelmente satisfatória, pode-se admitir que é uma alternativa ao vídeo. Recorda-se que para visualizar a “mesma” aplicação em vídeo, seria necessário gravar imagens ao longo de 7 minutos de duração, ocupando mais um mínimo de 630Mb de memória, face aos 4Mb do ficheiro *Eon*.

4. CONCLUSÕES

Comparativamente com outras representações visuais de âmbito didáctico, na presente aplicação virtual destaca-se: uma maior complexidade dos materiais e espaço, na tentativa de proporcionar uma maior capacidade imersiva durante a sua visualização; a introdução de um menu de eventos e de visualização, que permite ao utilizador a selecção rápida de acontecimentos que pretende visualizar; a preocupação constante com o utilizador, tentando antever os possíveis focos de incompreensão e dando-lhes o destaque que se considerou necessário; a coerência permanente com os movimentos da câmara, de modo a exibir todas as sequências de acontecimentos não só de forma pedagógica, mas também de forma apelativa para proporcionar o interesse e a atenção da parte do utilizador. Actualmente o modelo é divulgado através da página da disciplina de Pontes estando disponível para alunos e docentes.

O trabalho desenvolvido alcançou o objectivo de proporcionar não só o entendimento directo, rápido e consistente do processo construtivo por lançamento incremental, mas também mostrar as capacidades da representação em ambiente virtual como uma ferramenta de apoio a tradicionais e inovadoras técnicas de construção.

5. REFERÊNCIAS

- [EON08] EON, Introduction to working in EON Studio, *EON Reality, Inc.* 2008.
- [LaViolette07] M. LaViolette, Bridge Construction Practices using Incremental Launching study. *AASHTO*, 2007.
- [Leonhardt82] F. Leonhardt, Princípios básicos da construção de pontes em betão, Volume 6. - Interciência, RJ, 1982.
- [Martins09] Martins, Octávio M., Modelo virtual de simulação visual da construção de pontes executadas por lançamento incremental, *tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil*, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, 2009.
- [Reis06] A. J. Reis, Textos de apoio à disciplina de Pontes, AEIST, Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, 2006.
- [Sampaio04] Sampaio, A.Z., Henriques P., Studer P. Virtual Reality technology in Civil Engineering: the wall's construction model, *ICCES 2004, International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences*, Funchal (Portugal), 2004, 1138-1143.
- [Sampaio04a] Sampaio, A.Z., Henriques P., Studer P., Luiz R. Modelo virtual da construção de uma ponte: uma aplicação didáctica em Engenharia, *Interação 2004, 1ª Conferência Nacional em Interação Pessoa-Máquina*, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2004, 131-134.
- [Sampaio08] Sampaio, A.Z., Cruz, C., Visualização em ambiente virtual da execução gráfica de uma cobertura: uma aplicação didáctica, *Interação 2008, 3ª Conferência Nacional em Interação Pessoa-Máquina*, Évora (Portugal), pp. 35-40, 2008.
- [VSL77] The Incremental Launching Method in Prestressed Concrete Bridge Construction, *V.S.L. International Ltd.*, 1977.