



Simulações Numéricas e Fronteiras da Realidade

Exemplos e Discussões em Física, Engenharia e Arquitetura

Nilo Sylvio Costa Serpa

GAUGE-F Scientific Researches, Brazil; Faculdades ICESP.

Aline Santoro

UnB, Brazil.

Gisele Alves

Faculdades ICESP.

Received: 12/Feb/2018 _____ / Accepted: 20/Mar/2018 _____ / Published: 03/Apr/2018 _____.

Abstract: This article aims to discuss the applicability of computational simulations, showing its utility especially in the engineering of reinforced concrete structures. After going through an overview of simulation techniques with some examples in physics and engineering, the authors discuss the predictive scope of the simulations in the study of the behavior of structural pieces made of reinforced concrete. Present work is part of an ongoing research sponsored by Faculdades ICESP, Brasília –DF, Brasil.

Key words: computational simulations, modeling, reinforced concrete, civil engineering.

Nomenclatura

u, v, w : dissimilaridades dinâmicas no balanço de empresas e empregados no modelo Lotka-Volterra

D_A : distância por diâmetro angular (área radial)

Símbolos e expressões especiais

$\langle x - l \rangle^n$: *bracket* de Macaulay

$-\int q_0 l \left[\iint x^{-1} \langle x - l \rangle^1 dx \right] dl$: integral da flecha

Autor correspondente: Nilo Sylvio Costa Serpa, Ph.D., professor, áreas de pesquisa: gravitação quântica, computação quântica, cosmologia e engenharia de sistemas termodinâmicos. E-mail: nilo.serpa@icesp.edu.br.

1. Introdução

A capacidade de construir simulações numéricas computacionais colocou a comunidade científica sob uma poderosa perspectiva de modelagem ao longo das últimas décadas. O valor agregado à pesquisa pela velocidade de processamento de enormes quantidades de dados e a possibilidade de reproduzir condições de contorno estabelecidas em ambientes ou situações às quais não teríamos acesso direto não apenas deu novo impulso à busca de soluções técnicas para problemas reais, como também tornou viável a realização de testes rápidos, aumentando consideravelmente o alcance preditivo das nossas representações. Dessa maneira, as simulações numéricas nos permitem testar resultados anteriores da análise matemática, dando-nos a chance de encontrar padrões que possam ajudar a interpretar

realisticamente os aspectos formais do modelo aplicado em termos das observações registradas. Demais disso, novos *insights* podem surgir a partir de

simulações, ou mesmo fatos elucidativos até então desconhecidos.

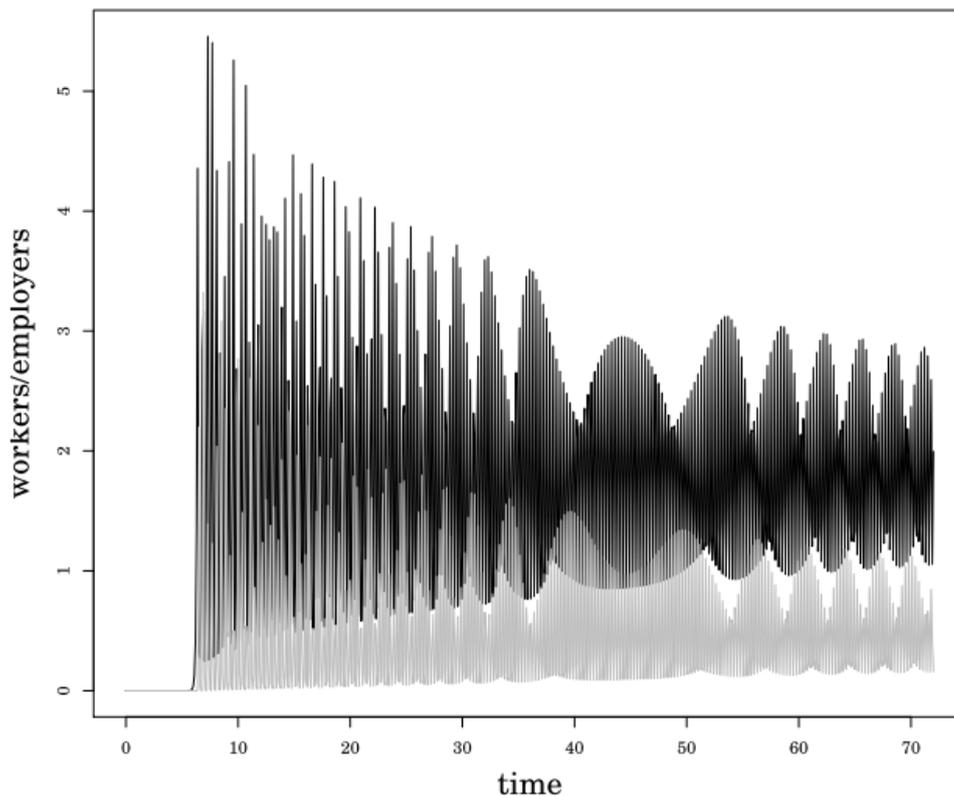


Figura 1 – Simulação realizada a partir do modelo predador-presa aplicado ao mercado de trabalho.

Não obstante, há, sem dúvida, um efeito colateral indesejável, qual seja o do abandono da busca de soluções analíticas para os problemas mais complexos. Semelhante abandono reflete uma espécie de letargia intelectual provocada pelo excesso de tecnologia. Não queremos aqui desmerecer um instrumento certamente muito valioso, e que tanto nos tem ajudado a melhor compreender uma imensa gama de fenômenos, tão somente alertar para o necessário cuidado quando se trata de representar o comportamento de sistemas físicos. Embora sejam ferramentas fundamentais para a evolução da moderna ciência e, conseqüentemente, da tecnologia, as simulações computacionais devem ser encaradas como recursos de apoio ao entendimento quando da ausência de factibilidade laboratorial, ou na

total impossibilidade de tratamento de problemas em que a não-linearidade natural se manifeste em termos de muitas variáveis cujas inter-relações funcionais sejam em parte obscuras. Neste último caso, procura-se simplificar o formalismo a ser submetido aos procedimentos numéricos, estabelecendo-se hipóteses iniciais e restrições de fronteira que ao menos nos forneçam um desenho aproximado do comportamento do sistema em questão.

Feitas as advertências acima, o objetivo deste artigo é mostrar com alguns exemplos o valor das simulações, sem excessivo entusiasmo, concentrando maior foco sobre o assunto das estruturas de concreto em engenharia civil. Sempre que necessário, chamaremos

atenção para os percalços semânticos e técnicos que poderiam afetar a simulação descrita.

2. Simulações: aplicações gerais

Uma simulação computacional é um programa ou *worksheet* (folha de tarefas ou sub-rotinas) que procura imitar (arremedar, semelhar, parodiar ou macaquear) aspectos-chave de um determinado sistema. As simulações variam em completeza e precisão, dependendo do propósito, dos recursos de processamento disponíveis, e da perícia de quem programa os simuladores. Espera-se, portanto, que simulações para as quais importa o grau de risco de vidas humanas sejam mais precisas do que simulações destinadas, por exemplo, ao desenvolvimento de jogos. Isto, porém, não significa que simulações que não importem em riscos humanos não devam ser precisas. Pelo contrário, inúmeras simulações dizem respeito à investigação de fenômenos notáveis que não ameaçam a integridade dos indivíduos, e, no entanto, necessitam ser precisas para dar conta de boas aproximações à realidade. De qualquer maneira, é a dificuldade em lidar analiticamente com um problema — quer pela natureza das funções envolvidas, quer pelo volume de dados que precisam ser cruzados via funções pouco tratáveis — que nos leva às simulações mais específicas.

A Figura 1 resulta de uma simulação econofísica da evolução do mercado de trabalho no Brasil entre 1996 e 2008, a partir de um modelo tipo predador-presa [3], onde o predador é a empresa que “captura” a mão-de-obra (oscilações claras), e a presa é o trabalhador que se submete à exploração da empresa (oscilações escuras). As oscilações devem ser entendidas como decorrentes das flutuações de oferta e de demanda. Essa dinâmica foi representada por um sistema Lotka-Volterra modificado por Serpa em 2012, após estudos realizados sobre oscilações forçadas e atratores estranhos, cujas equações diferenciais são

$$\begin{cases} a.u.u_0 - \alpha_1 \cdot u.u_0 \cdot v.v_0 = 0 \\ -b.v.v_0 + \alpha_1 \cdot u.u_0 \cdot v.v_0 - \\ -\alpha_2 \cdot v.v_0 \cdot w.w_0 = 0 \\ -c \cdot (w.w_0 - w^\dagger) + \alpha_2 \cdot v.v_0 \cdot w.w_0 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

no qual a mescla das variáveis dinâmicas u, v, w com u_0, v_0, w_0 determina a geometria final do sistema de acordo com os dados registrados (para maiores detalhes sobre o modelo, veja referência [3]). Vislumbra-se com nitidez uma fase inicial mais caótica (entre 1996 e 2000), com grandes flutuações de mercado, e uma fase intermediária de transição (entre 2000 e 2002), culminando esta na fase subsequente dos anos de prosperidade mundial do início do século (entre 2002 e 2008), apresentando um padrão de atenuação e maior equilíbrio. Ainda que a representação seja consistente com os fatos históricos, cabe lembrar que o modelo se limita a uma análise anterior ao cenário conturbado em que se encontra a sociedade brasileira, de modo que o sistema de equações precisaria ser testado à luz do panorama presente para ser efetivamente generalizado. O mesmo conjunto de equações também foi usado por Serpa em outro contexto [5, 6], demonstrando a versatilidade do modelo.

Simulações são fundamentais em cosmologia astrofísica. Grosso modo, cosmologia é a parte da astronomia que se ocupa do estudo da gênese e da evolução do universo em larga escala. Exerce papel crítico na cosmologia uma classe de extensões no espaço profundo denominadas <<distâncias cosmológicas>>. Uma delas é conhecida como distância por diâmetro angular (ou área radial), de especial interesse para as investigações sobre aglomerados de galáxias [4].

Normalmente, a distância por diâmetro angular é avaliada em função do desvio para o vermelho (z), considerando o parâmetro de desaceleração (q_0) e a constante de Hubble (H_0),

$$D_A = \frac{c}{H_0 q_0^2} \left(\frac{q_0 z + (q_0 - 1) \left(\sqrt{1 + 2q_0 z} - 1 \right)}{1 + z^2} \right). \quad (2)$$

A Figura 2 mostra uma simulação para aglomerados conhecidos até $z = 1,0$. Como se percebe, as incertezas são grandes, muito embora se possa afirmar que a distribuição de aglomerados de galáxias acompanha, aproximadamente, a curva teórica obtida.

3. A série de Macauley-Serpa e a modelagem de carregamentos em uma viga prismática qualquer: afinal, o que é simular?

É preciso cautela ao se usar o termo <<simulação>>. Obviamente, o que o computador sempre faz é simular, já que os cálculos cibernéticos

não são contínuos, e sim finitos. Parece, portanto, redundante falar de simulações numéricas se tudo que a máquina pode fazer é simular. Contudo, tomemos um exemplo de aproximação por séries em um cálculo manufaturado e entreguemo-lo ao computador.

Em cálculo estrutural necessitamos modelar o carregamento que incide sobre uma viga por modo de medir-lhe as reações nos apoios. No conjunto de toda a estrutura, com tantas peças e tantos carregamentos, a tarefa pode ser enfadonha se caminharmos pelas vias tradicionais. Explorando ao máximo o emprego das funções de singularidade [1, 2], semelhante tarefa se torna muito mais simples e formalmente elegante. Por que razão este método não foi difundido no Brasil com a devida atenção permanece, para mim, um fato incompreensível.

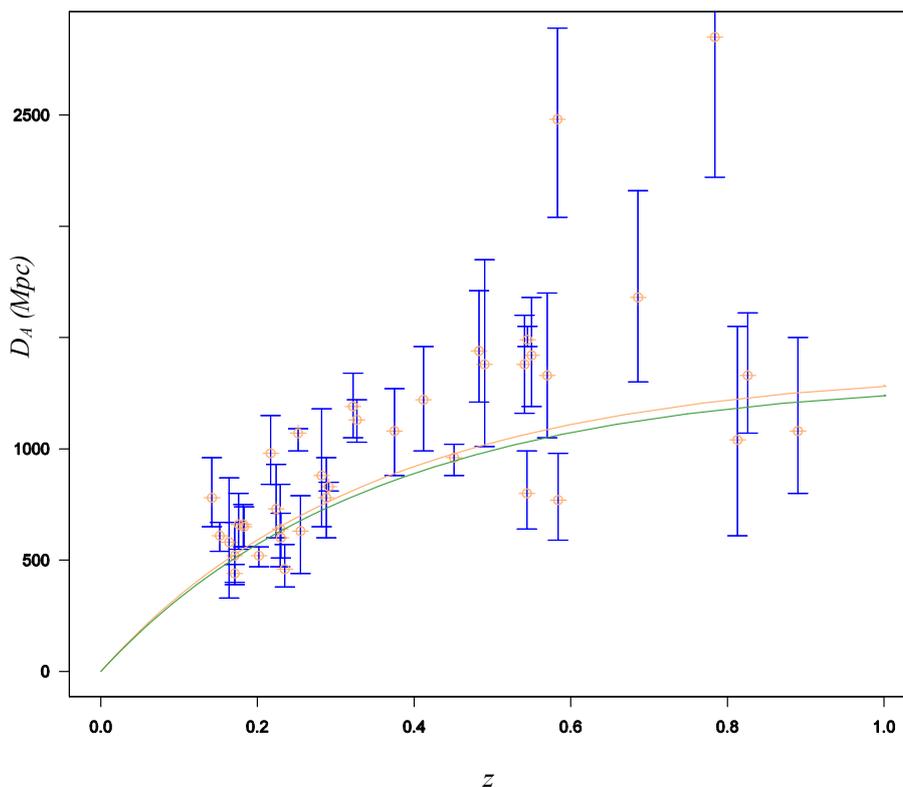


Figura 2 – Curvas teóricas da distância por diâmetro angular (laranja considera desvio provocado por inhomogeneidades na distribuição de matéria) e aglomerados mapeados com as respectivas barras de erro referentes ao cômputo das distâncias [4].

Tomemos, pois, uma carga distribuída em rampa sobre uma viga prismática de concreto armado (Figura 3). No modelo em *kets* de Macaulay, a expressão da parcela da flecha correspondente a esta carga assume, a partir da integral dupla dos momentos, a seguinte forma:

$$-\int q_0 l \left[\iint x^{-1} \langle x-l \rangle^1 dx \right] dl, \quad (3)$$

onde l é a extensão da viga sobre a qual se distribui a carga, e x um ponto qualquer ao longo da viga.

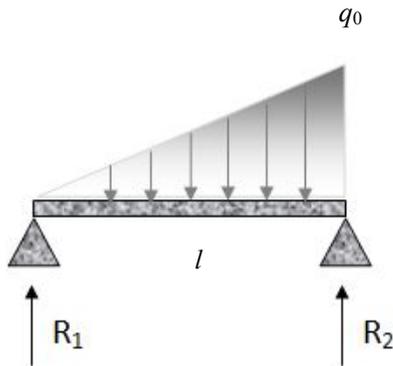


Figura 3 – Carregamento em rampa.

Serpa demonstrou que, combinando-se as regras operacionais dos *kets* com a manipulação das funções ordinárias, a integral dupla entre colchetes se expande numa série infinita de integrações por partes, tal como

$$\begin{aligned} \iint x^{-1} \langle x-l \rangle^1 dx &= \\ &= x^{-1} \frac{\langle x-l \rangle^3}{6} + x^{-2} \frac{\langle x-l \rangle^4}{12} + x^{-3} \frac{\langle x-l \rangle^5}{20} + \\ &+ x^{-4} \frac{\langle x-l \rangle^6}{40} + \frac{1}{10} \int \langle x-l \rangle^6 x^{-5} dx + \int \dots \end{aligned}$$

Esta série ficou conhecida como série de Macaulay-Serpa. Para todos os efeitos práticos, uma

boa aproximação é truncar a série no termo de quinta ordem, de modo que

$$\begin{aligned} \iint x^{-1} \langle x-l \rangle^1 dx &\approx \\ &\approx x^{-1} \frac{\langle x-l \rangle^3}{6} + x^{-2} \frac{\langle x-l \rangle^4}{12} + x^{-3} \frac{\langle x-l \rangle^5}{20} + \\ &+ x^{-4} \frac{\langle x-l \rangle^6}{40}. \end{aligned}$$

Esta aproximação é possível em primeiro lugar porque a série converge, o que é fácil de demonstrar da seguinte maneira:

Por simplicidade, tomemos a integral dupla até o terceiro termo,

$$A = x^{-1} \frac{\langle x-l \rangle^3}{6} + x^{-2} \frac{\langle x-l \rangle^4}{12} + x^{-3} \frac{\langle x-l \rangle^5}{20}.$$

Definamos as quantidades

$$a = x^{-1} \frac{\langle x-l \rangle^3}{6};$$

$$b = x^{-2} \frac{\langle x-l \rangle^4}{12};$$

$$c = x^{-3} \frac{\langle x-l \rangle^5}{20}.$$

A Tabela 1 mostra nas linhas o valor total << A >> da série truncada e, lado a lado, o valor dos termos << a >>, << b >> e << c >>, separadamente, variando-se, nas colunas, o ponto << x >> de referência na viga. Foi considerado um comprimento de viga de 20 unidades de extensão, e de 10 unidades de extensão para o comprimento << l >> do carregamento em rampa.

Como se observa, a coluna << c >> justifica um bom limite de aproximação.

Agora bem, uma vez aceita a série truncada como solução aproximada da integral dupla, não estamos fazendo mais do que reproduzir um procedimento finito, o qual está na base do cálculo computacional, isto é, das simulações cibernéticas. Assim, a série truncada e cada termo isolado evoluem de acordo com as colunas da Tabela 1 em exponenciais de domínio cada vez menor conforme avançamos aos termos mais distantes da série (Figura 4).

Tabela 1 – Evolução dos termos da série de Macaulay-Serpa.

A	a	b	c
11.04166667	8.33333333	2.0833333333	6.250000e-01
8.33972882	6.39473684	1.5145429363	4.304490e-01
6.07517147	4.74074074	1.0534979424	2.809328e-01
4.22612118	3.36274510	0.6923298731	1.710462e-01
2.76679687	2.25000000	0.4218750000	9.492188e-02
1.66666667	1.38888889	0.2314814815	4.629630e-02
0.88940719	0.76190476	0.1088435374	1.865889e-02
0.39162494	0.34615385	0.0399408284	5.530269e-03
0.12129630	0.11111111	0.0092592593	9.259259e-04
0.01587779	0.01515152	0.0006887052	3.756574e-05
0.00000000	0.00000000	0.0000000000	0.000000e+00

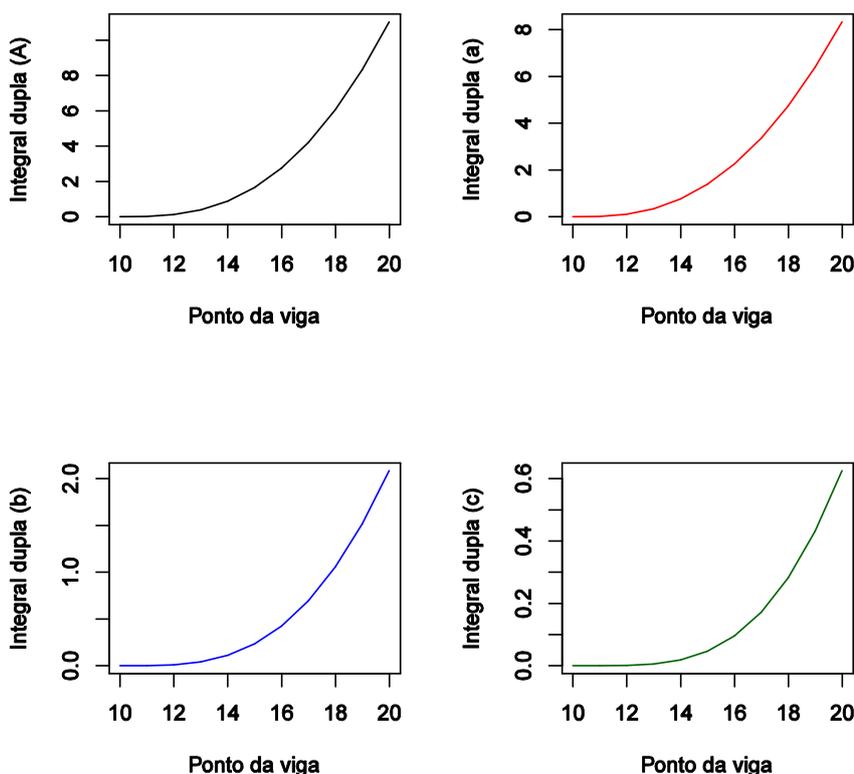


Figura 4 – Evolução ponto-a-ponto da série truncada e de cada termo isoladamente.

Portanto, neste caso em que a expansão em série é uma consequência direta da natureza peculiar da integração dupla em questão, nossa simulação começa antes mesmo de irmos ao computador. Logo, ao usar o computador estamos emulando a emulação!

Em resumo, estamos sempre imitando a realidade, quer usemos ou não um computador. Simular é, por um

lado, atividade libertadora, já que nos permite alcançar alguma compreensão onde essa parecia impossível; por outro lado, é o eterno símbolo da finitude de nossas capacidades intelectivas, e, portanto, do nosso acesso à realidade.

3. As curvas da arquitetura

As imagens coordenadas aos objetos que se quer representar ganham expressão inteligível por intermédio das mãos, seja em esculturas, em desenhos, ou em pinturas. Infelizmente, por um descuido do sistema de ensino-aprendizagem, alunos de arquitetura e urbanismo, disciplina onde a forma desempenha papel relevante, estão se distanciando cada vez mais desse princípio básico de funcionamento do cérebro enquanto centro criativo na tola expectativa de que se tornarão arquitetos somente aprendendo a montar representações assistidas por computador. Esses jovens, nascidos no conforto superficial de uma civilização apática e imediatista, creem que o computador é a solução para as suas deficiências cognitivas e inabilidades gráficas. Graças à extinção da geometria descritiva na maioria dos cursos existentes, associada à falta de leitura clássica e à ausência de humanismos antigos e contemporâneos, a pobreza do grafismo e a frieza projetiva tomaram conta da discência, formando uma barreira comportamental quase inexpugnável.

Contudo, não se ganhou Zamora em uma hora. A luta docente continua, ainda que a duras penas. Uma forma produtiva de trazer a tecnologia para si como aliada, de modo adjunto, é procurar despertar o interesse pelo estudo criativo das formas. Nessa direção, o Rhinoceros, *software* de modelagem tridimensional baseado na tecnologia NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*), permite a representação de curvas e superfícies complexas, processando polinômios de baixo grau, isto é, expressões algébricas mais simples. A Figura 5 mostra a simulação pelo Rhinoceros do Palanque Monumental de Oscar Niemeyer, visto em seguida na Figura 6. Com esse exemplo ilustra-se de que modo a tecnologia torna possível emular e entender as formas complexas de maneira a podermos aplica-las oportuna e corretamente nos croquis que antecedem o projeto executivo propriamente dito.

Enfim, é como sempre digo: desenhos computadorizados não constituem projetos arquitetônicos; excetuando-se aquele emprego industrioso para o estudo das formas, não são mais do que expressões frias da burocracia e da falta de engenho projetual.

4. Conclusão

As modernas ferramentas de *software* têm contribuído para a descoberta e predição de novos fenômenos e comportamentos sistêmicos, além de agilizarem o trabalho investigativo da ciência. Ninguém o nega. Não obstante, tais ferramentas também são responsáveis por um considerável grau de ociosidade mental, levando estudantes, professores e pesquisadores ao sedentarismo intelectual operacionalista, o qual resume o trabalho racional à mera eficiência de uso dos aplicativos e dos *frameworks*. A linde que separa o trabalho analítico criativo da automação consumada é tênue, pois, como vimos, as representações científicas são baseadas em emulações pela própria finitude do entendimento. Devido a essa condição limitada, é fácil confundir a simulação criativa da simples imitação robótica, tanto mais que a presente reflexão raramente é feita. A dominância da tecnologia sobre o potencial imaginativo humano marcou a nítida diferença entre a atividade racionalista da primeira metade do século XX e a vacuidade do modernismo e do pós-modernismo, prevalente na segunda metade e nos dias atuais. A busca pela inovação, em que pesem aspectos mercadológicos, reflete de certa forma o atual predomínio das colagens de artefatos já existentes apresentadas como novidades; como se diz, “mais do mesmo”.

Esperamos que esse estudo alerte os leitores para a importância de compreender o que é simular, mantendo o bom-senso no emprego dos emuladores tecnológicos sem que estes nos tornem servos da automação e, conseqüentemente, criaturas incapazes de mínima faísca criativa.

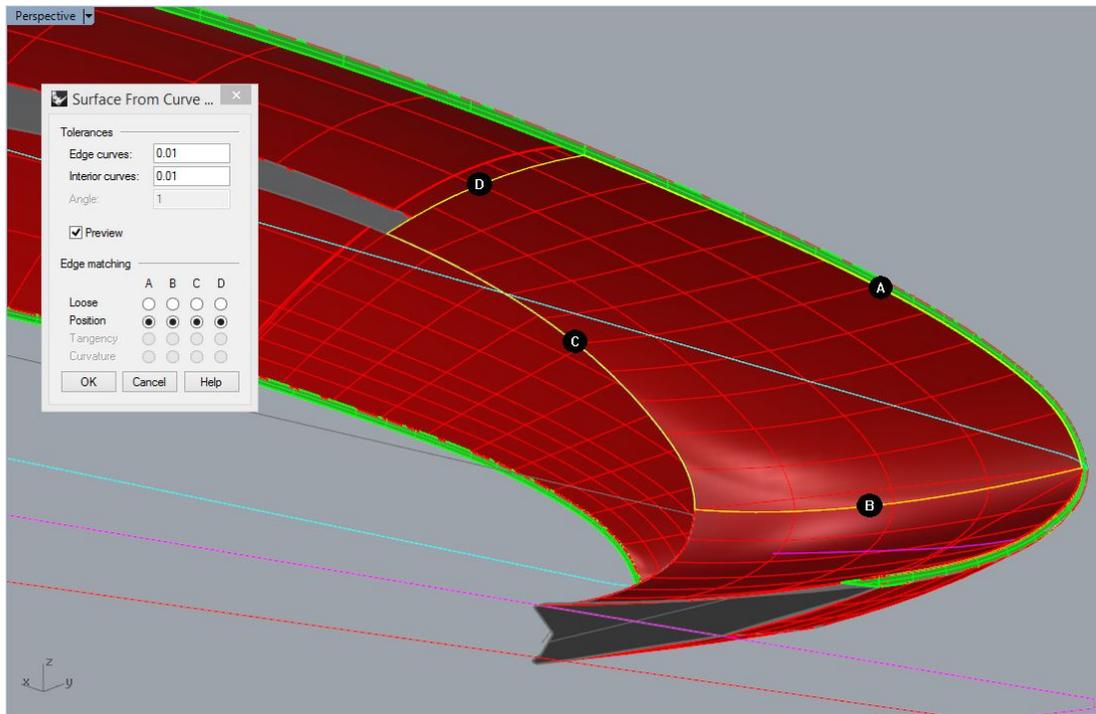


Figura 5. Criação do Palanque Monumental por meio de formas NURBS no Rhinoceros (cortesia de Santoro, 2017).



Figura 6. Vista noturna do Palanque Monumental (foto livre de direitos autorais).

Referências

- [1] Clebsch, A. 1862. *Theorie der Elasticität Fester Körper*. B.G. Teubner, Leipzig.
- [2] Macaulay, W. 1919. “A Note on the Deflection of Beams.” *Messenger Math* XLVIII.
- [3] Serpa, N. 2012. “Computational Simulations and Science: Advanced Lotka-Volterra Modeling in Economics.” *Int. J. of Data Analysis & Information Systems* 4(2): 69 – 80.
- [4] Serpa, N. 2016. “Reviewing Redshift and Cosmological Distances: The Sunyaev-Zel’dovich Effect and the LTB Perspective.” *CALIBRE - Revista Brasileira de Engenharia e Física Aplicada*, 1: 12.
- [5] Serpa, N., Alcântara, M., Cruz, E. 2017. “Construction of Dynamic Academic Systems: A Preliminary Modeling.” *Journal of Education, Society and Behavioural Science* 23: 1-9.
- [6] Serpa, N., Alcântara, M., Cruz, E. 2017. “Encáostica, a Engenharia do Caos: Construindo Sistemas Acadêmicos Dinâmicos.” *CALIBRE – Revista Brasileira de Engenharia e Física Aplicada* 2: 12.