

Interações virtuais e reais para a criação de códigos de programação para o projeto Cubos C³

Hugo A. D. do Nascimento¹

Victor Martin de Oliveira²

Luca G. P. Flores Iglesias³

Fabrizzio A. A. M. Nunes Soares⁴

Resumo

A possibilidade de integrar ações e objetos virtuais na Internet com interações e objetos similares no mundo físico pode levar artistas a criar formas mais dinâmicas e envolventes de arte tecnológica. No presente artigo, exploramos este conceito com a finalidade de usar e ampliar um projeto artístico baseado em cubos interativos desenvolvido pelo Media Lab / UFG, chamado de Cubos C³. Este novo trabalho consiste de dois ambientes conectados para gerar e experimentar novos códigos de programação para os cubos. O primeiro é um sistema de realidade virtual na Web, em que o participantes podem experimentar e avaliar versões virtuais dos cubos, com códigos que mudam por meio de um processo de computação evolucionária. O segundo ambiente consiste de uma instalação física na qual pessoas podem experimentar os cubos reais, atualizados automaticamente com os melhores códigos gerados previamente pelo sistema na Web. Os usuários não escrevem códigos para os cubos, de forma explícita, os códigos são modificados pelo processo de computação evolucionária usando os resultados das avaliações humanas. Este trabalho apresenta uma exploração do potencial de guiar um sistema evolutivo interativo para a criação de novos comportamentos para objetos reais, ao mesmo tempo em que procura estabelecer uma relação mais imediata entre o que é produzido em um ambiente virtual e o que pode ser experimentando em um espaço físico real.

Palavras-chave

Cubos interativos, computação evolucionária, ambiente virtual, instalação física.

¹ Media Lab & INF-UFG, Goiânia-GO. hadn@inf.ufg.br

² Apoio da CAPES na forma de bolsa de mestrado. vtrmartin@gmail.com

³ Media Lab & INF-UFG, Goiânia-GO. lucaiglesias@gmail.com

⁴ INF-UFG, Goiânia-GO. fabrizzio@inf.ufg.br

Virtual and real interactions for the creation of programming codes for the C³ Cubes project

Abstract

The possibility of integrating virtual actions and objects on the Internet with similar interactions and objects in the physical world may lead artists to create more dynamic and engaging forms of technological art. In the present article, we introduce a piece of work on this direction that makes use and enhances an interactive cube-based art project previously created at the Media Lab / UFG, called C³ Cubes. The new piece of work proposes two linked environments for generating and experimenting new programming codes for the cubes: one environment is a virtual reality Web system that allows participants to interact with and evaluate virtual versions of the cubes, which codes change through an evolutionary computation process; the other environment consists of a physical installation where people can experience with the actual cubes, automatically updated with the best programming codes generated so far by the system at the Web. In neither case do users explicitly write codes for the cubes. Instead, the codes are changed by the evolutionary computation process using the results of the human assessments. This work explores the potential of guiding an interactive evolutionary system to create new behaviors for real objects, while at the same time seeking to create a more immediate relationship between what is produced in a virtual environment and what can be experienced in a real physical space.

Keywords

Interactive cubes, evolutionary computation, virtual environment, physical installation.

Introdução

A arte tecnológica vem, há tempos, consolidando sua importância para os mais variados públicos. Atualmente, diversos museus, shows musicais e de dança, bem como outros eventos culturais implementam projetos de arte tecnológica, atraindo e cativando os seus espectadores. Elementos como luzes, imagens digitais, sons e vibrações, comumente facilitados por painéis de vídeo, projetores, caixas de som, dispositivos eletrônicos e computacionais de controle viabilizam a execução desses tipos de projetos. Observa-se que, quando a interação humana permite alterar dinamicamente os elementos artísticos, a obra ganha uma outra dimensão, geralmente resultando em um forte engajamento e experiências mais impactantes para o público. Ressalta-se que, neste caso, a audiência deixa o papel passivo, ora chamado de observador, e assume um papel ativo, podendo ser denominado então de interator.

Em 2015, o Media Lab / UFG desenvolveu um projeto de arte tecnológica interativa chamado de Cubos C³ (DO NASCIMENTO et al., 2015). O projeto consistiu de três cubos com 60 cm de lado cada, os quais podem ser programados para reagir à ação de in-

teratores. Os cubos são equipados com um Arduino UNO, acelerômetro e giroscópio, LEDs RGB, *Buzzer* (cigarra) e dispositivos de comunicação por radiofrequência. Esse aparato tecnológico foi desenhado pensando em sua utilização em exposições, feiras e em eventos de outra natureza, podendo a programação dos cubos ser modificada para atender a necessidades específicas. A primeira apresentação dos Cubos C³ foi no evento “*Understanding Visual Music*” realizado em 2015 em Brasília-DF, Brasil. Para tal evento, palavras e símbolos variados foram pintados nas faces dos cubos. Além disso, as reações (na forma de luzes e sinais sonoros) foram programadas de modo a guiar os interatores a colocarem os cubos próximos entre si e com faces que continuam as palavras “Media”, “Lab” e “UFG” voltadas para cima. Como a variedade de combinações de estados dos cubos é grande, envolvendo quais faces estão para cima, se eles estão próximos ou distantes uns dos outros, e se estão ou não sendo segurados por pessoas, além de outros parâmetros, é possível programar comportamentos complexos para o projeto e assim desenvolver diversos tipos de aplicações, incluindo alguns tipos de jogos.

Infelizmente, a programação de comportamentos para os Cubos C³ não é uma tarefa que possa ser considerada trivial para todos. Além da necessidade de saber programar para o *hardware* do Arduino e detalhes da linguagem de programação utilizada, a linguagem C, é preciso conhecer os componentes eletrônicos periféricos que podem ser controlados dentro do sistema e conseguir utilizar a arquitetura de software desenhada para especificar os comportamentos dos cubos. Atualmente, tais comportamentos devem ser codificados como *máquinas de estado*, com cada *estado* representando uma resposta visual, como acender, apagar ou piscar luzes, bem como mudar a sua cor, ou um evento sonoro, como emitir uma ou mais notas musicais. A passagem de um estado para outro é definida por uma *transição*, acionada por *condições* que avaliam informações trocadas entre os cubos e interações realizadas pelos usuários (como segurar, balançar ou rotacionar os cubos). Os conhecimentos e as habilidades necessários para programar tal sistema são considerados assim de nível médio a avançado, o que significa que a implementação de uma obra de arte tecnológica usando os Cubos C³ pode ser uma tarefa complicada para a maioria dos artistas.

Com o intuito de tornar a programação dos Cubos C³ mais acessível para todos os profissionais, um segundo trabalho foi iniciado visando implementar um ambiente de programação visual para esse projeto (GUIMARÃES et al, 2016). A ideia foi permitir aos usuários especificar as máquinas de estado em uma ferramenta de edição adicionando visualmente círculos representando os estados e linhas referenciando as transições. As respostas visuais e sonoras a serem vinculadas aos estados, bem como, as possíveis condições para caracterizar uma transição poderiam ser escolhidas de uma lista de opções predefinidas. Uma ferramenta computacional contendo essa funcionalidade foi implementada e denominada C³-GUI (em referência a *Graphic User Interface* para o C³). A ferramenta atualmente gera código em Linguagem C para as máquinas

de estado especificadas com essa linguagem visual. Tais códigos podem ser então incorporados à programação convencional dos Cubos C^3 . Apesar de interessante, por evitar a programação direta na linguagem C, a modelagem visual adotada demanda uma grande quantidade de transições para representar alguns comportamentos, o que torna o diagrama da máquina de estado visualmente poluído e de difícil manutenção. Além disso, essa abordagem não dispensa o *designer* de elaborar comportamentos interessantes para os cubos e de traduzi-los para a máquina de estado de cada um.

Neste contexto, se insere o presente trabalho com uma nova proposta que vem sendo investigada pelos autores (OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2016; OLIVEIRA, 2017) no sentido de gerar comportamentos interessantes para os Cubos C^3 sem a necessidade de programação direta. A proposta consiste em utilizar um método computacional denominado Computação Evolutiva Interativa (CEI) para construir as máquinas de estados, enquanto os usuários apenas avaliam os resultados que estão sendo gerados por um sistema automatizado. Além disso, uma situação foi pensada em que usuários remotos participam da avaliação de projetos C^3 através de um ambiente virtual na Web, enquanto outros interatores experienciam o melhor projeto de Cubos C^3 construído até o momento em uma instalação física presencial.

Os detalhes dessa proposta são discutidos nas próximas seções, começando na Seção 2 com uma breve explanação do que seja Computação Evolutiva e Computação Evolutiva Interativa. Em seguida, a aplicação da CEI para os Cubos C^3 é apresentada na Seção 3. A Seção 4 discute a possibilidade de ter dois ambientes (virtual e real) conectados para gerar, experimentar e avaliar comportamentos para os Cubos C^3 . Na Seção 5, concluímos com uma discussão geral sobre a pesquisa e com sugestões para trabalhos futuros.

Computação Evolutiva e sua vertente interativa

A *Computação Evolutiva* (CE também chamada de *Computação Evolucionária*) é uma subárea da inteligência artificial em que seus algoritmos normalmente são inspirados na evolução natural. No processo evolutivo, uma população de indivíduos (conjunto de possíveis soluções) evolui por diversas gerações via recombinação, mutação e sobrevivência do mais apto. O processo evolutivo da CE é guiado por uma *função de aptidão*, a qual determina a qualidade das soluções (indivíduos) de uma população. Alguns critérios podem ser utilizados para finalizar o processo evolutivo, como o tempo de execução, o número de gerações ou a qualidade de uma solução.

Na Computação Evolutiva, a função de aptidão é quase sempre uma função matemática bem definida. Assim, para problemas mais subjetivos como aqueles na área de artes, *design* e outras, a CE enfrenta alguns desafios. Uma alternativa, neste caso, é adotar a *Computação Evolutiva Interativa* (CEI), uma área da CE em que o ser humano participa do processo evolutivo, geralmente avaliando as soluções no lugar de uma função objetivo. Por meio da CEI, é possível abordar problemas subjetivos em que a

função de aptidão existe apenas na mente do usuário. O uso do ser humano no processo evolutivo, por sua vez, pode esbarrar em novos desafios. Em particular, a fadiga humana impossibilita a evolução da população por muitas gerações. Desta forma, a CEI é normalmente utilizada com uma população pequena e envolve poucas gerações (algumas dezenas). Certos mecanismos, como elitismo, rede neural e funções *surrogate*⁵ podem ser empregados para acelerar a convergência do processo evolutivo, compensando as desvantagens dessa abordagem.

Apesar das limitações inerentes à CEI, ela vem sendo utilizada com sucesso em diversos projetos. Por exemplo, Hastings et al. (2009) empregaram CEI na evolução de elementos de um jogo de computador, com o objetivo de torná-lo interessante. Romero e Machado (2007) pesquisaram vários casos de CEI para artes e estética, preocupados com a criação de imagens, música e projetos arquitetônicos, entre outros elementos. Karl Sims (1991) e Draves (2005) aplicaram CEI para gerar imagens. Madera et al. (2016) utilizaram CEI no desenvolvimento de textos de propaganda, enquanto Makiwan et al. (2017) a aplicaram na seleção de paletes de cores.

Aplicando CEI para a geração de comportamentos para os Cubos C³

A CEI é empregada no presente trabalho para gerar projetos de Cubos C³ interessantes, com cada projeto consistindo de três cubos e cada um deles contendo uma máquina de estado que descreve o seu comportamento. Para tanto, um sistema computacional foi desenvolvido de modo a realizar três estágios principais: (1) criação e armazenamento de uma população inicial de projetos; (2) avaliação dos indivíduos (ou seja, dos projetos Cubos C³) da população corrente, realizada por participantes humanos; e (3), após a avaliação de todos os projetos da população atual, seleção dos indivíduos com melhor pontuação e recombinação e mutação deles, produzindo uma nova população que substitui a anterior. Os estágios (2) e (3) são repetidos iterativamente, sempre que a população atual é totalmente avaliada.

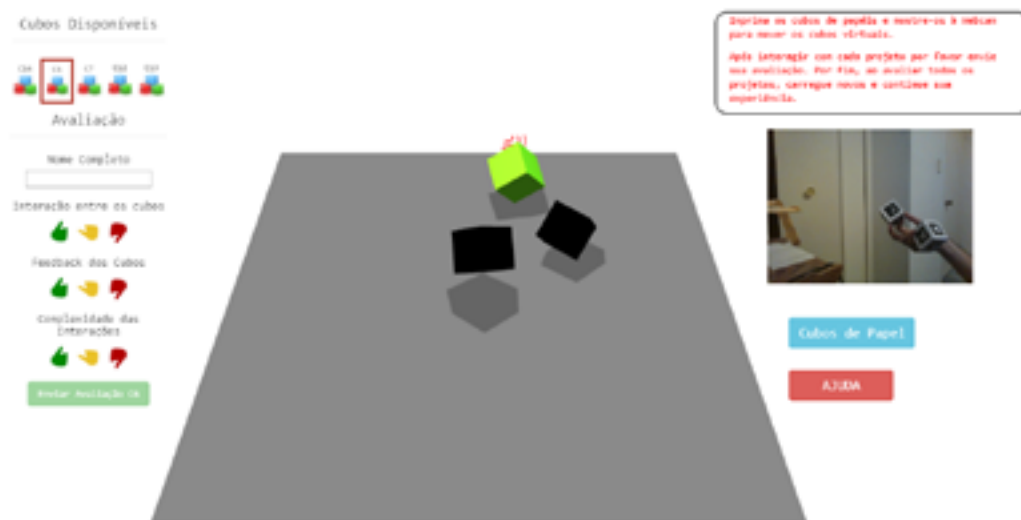
A representação de um indivíduo na nossa abordagem é feita por meio de uma estrutura de dados que consegue descrever simultaneamente três máquinas de estados (envolvendo estados, ações acionadas pelos estados, transições entre pares de estados e condições que disparam as transições). A operação de recombinação (no caso, um operador de dois pontos de corte) intercambia partes de duas máquinas de estados, referentes a cubos de projetos distintos, gerando assim dois novos indivíduos. Já o operador de mutação realiza mudanças aleatórias na máquina de estado de um

⁵ *Surrogate* é um modelo de aproximação utilizado para simular funções mais complexas ou difíceis de computar, porém com um custo reduzido. Ele também pode ser empregado para modelar funções parcial ou totalmente desconhecidas. A fim de prevenir ótimos locais, é aconselhável alternar o uso da surrogate com o da função objetivo original, se existente.

cubo de um indivíduo como: inserir ou excluir um estado ou transição, mudar as ações vinculadas aos estados ou alterar as condições e características de uma transição.

Esse sistema foi estendido para ter um ambiente virtual 3D de simulação na Web que possibilita a avaliação de soluções por um operador humano. A interface gráfica do ambiente com o usuário, ilustrada na Figura 1, apresenta alguns projetos de Cubos C³ escolhidos aleatoriamente da população corrente, conforme região no lado superior esquerdo da imagem. O usuário deve escolher um desses projetos por vez e interagir com ele. Tal interação pode ocorrer por meio do *mouse* ou utilizando cubos de papel impressos com marcadores fiduciais nas faces e que são reconhecidos usando uma câmera Web.

Figura 1: Ambiente virtual para simulação e avaliação de projetos de Cubos C³.



Neste último caso, ao transladar ou rotacionar um cubo de papel em frente à câmera, o cubo virtual associado move-se de forma correspondente.

Durante a experimentação de um projeto, o ambiente simula o funcionamento dos cubos como se fossem reais, realizando a interpretação das máquinas de estado do projeto e o monitoramento da interação com o usuário. Após ter experimentado suficientemente um projeto, o usuário deve avaliá-lo quanto a três aspectos: satisfação com o feedback (visual e sonoro) dos cubos; satisfação com a interação entre os próprios cubos; e complexidade das máquinas de estado (sendo esta uma medida geral que indica quão interessante é o projeto como um todo). Cada um desses aspectos deve ser avaliado por meio de uma escala de notas +1, 0 e -1, representadas graficamente pelos ícones *thumbs up*, *middle* e *thumbs down*, respectivamente. Como são adotados três aspectos de avaliação e há três possíveis notas, a avaliação de um

projeto pode resultar em nove resultados distintos. Uma vez concluída a avaliação dos projetos apresentados ao usuário, as notas são armazenadas em um banco de dados.

O fato do ambiente ser na Web permite que vários usuários avaliem projetos de Cubos C³ simultaneamente. Na versão atual da aplicação, o tamanho da população é de 15 indivíduos (15 projetos de Cubos C³). Cada usuário na Web recebe 5 projetos para avaliar, escolhidos aleatoriamente da população corrente. Após todos os 15 projetos terem sido avaliados duas vezes, a média da avaliação é calculada para cada uma deles e o estágio de seleção, recombinação e mutação é ativado, resultando em uma nova população.

Nos primeiros testes com essa abordagem, foi verificado que a CEI demandava um esforço significativo dos usuários para produzir comportamentos mais elaborados dos cubos. Isso porque eram necessárias mais de uma dezena de gerações da população, com cada geração demandando 30 avaliações dos projetos e cada avaliação consumindo entre um a três minutos de interação humano-computador. A fadiga humana decorrente desse processo é, portanto, elevada, o que impossibilita a realização de várias gerações e/ou uma convergência rápida para bons resultados.

Visando aumentar o número de gerações do algoritmo evolutivo, foi então implementado um modelo de aproximação do espaço de solução por função *surrogate*, sendo empregada uma Função de Base Radial (FBR) apoiada no trabalho de Kim et al (2014). A abordagem consiste em construir uma FBR a partir das médias das avaliações dadas pelos usuários para os indivíduos da população corrente. Em seguida, essa função aproximada é utilizada como função de aptidão por cinco iterações do método evolutivo. Após tais iterações, a população resultante é novamente avaliada pelos usuários, uma nova FBR é computada e o processo se repete.

Experimentos com a FRB demonstraram que a adoção da função *surrogate* é vantajosa nas primeiras iterações do método evolutivo (por cerca de 37 gerações envolvendo avaliações humanas), podendo eliminar até 75% do esforço dos usuários em avaliar os cubos C³. Após uma certa quantidade de iterações, a *surrogate* passa a ter um efeito negativo na convergência, devendo ser desativada ou ter a sua aplicação reduzida (OLIVEIRA, 2017).

Os resultados finais dos experimentos mostraram que é possível partir de uma população inicial de projetos C³ simples e, após algumas gerações, chegar a soluções com comportamentos novos e mais complexos. Os projetos resultantes podem ser salvos em um banco de dados para serem utilizados futuramente como população inicial de outros experimentos, ou serem implementados nos cubos C³ reais para testes ou exposição.

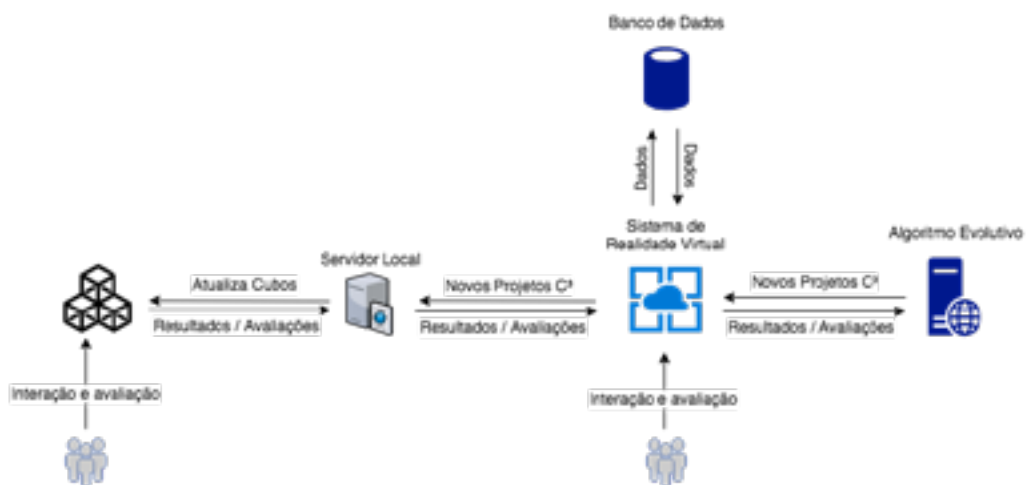
Integrando o ambiente virtual com o real

Como parte exclusiva do presente trabalho, foi projetada uma forma de integração entre o ambiente virtual de simulação na Web e os cubos reais, a serem expostos em

um evento. A ideia é permitir que os participantes do evento consigam experimentar *in loco* e sem necessidade de configuração manual dos cubos reais o melhor projeto pertencente à última população gerada no ambiente virtual. Também se deseja que esses participantes possam avaliar o projeto em questão e que tal avaliação seja considerada na evolução dos próximos cubos pelo ambiente virtual.

Para atingir esses objetivos, foram realizadas modificações no ambiente virtual e na codificação dos cubos reais, além de incluídos novos componentes de comunicação entre esses elementos. A Figura 2 mostra um diagrama da arquitetura da nova abordagem proposta.

Figura 2: Arquitetura da proposta de integração do ambiente virtual com os cubos reais.



No lado direito da figura, localiza-se o Algoritmo Evolutivo da CEI incorporado a um Sistema de Realidade Virtual. Esses dois elementos, junto com um banco de dados, compõem o ambiente virtual 3D de simulação e podem ser executados em qualquer máquina servidora com acesso à Internet (no momento, eles estão implantados em um equipamento servidor hospedado no *data center* do Instituto de Informática da UFG). Usuários remotos, através da Web, visualizam, interagem e avaliam os projetos gerados usando o Sistema de Realidade Virtual. A população de projetos sendo evoluída e as suas avaliações são armazenadas no banco de dados. Os cubos reais, destacados mais à esquerda na figura, estão localizados no espaço físico do evento. Os participantes do evento interagem com esses cubos. Um servidor local, também no espaço do evento e conectado à Internet, faz a integração entre o ambiente virtual e os cubos reais e seus interatores.

O ambiente virtual foi modificado para produzir e manter sempre atualizada uma página Web contendo a descrição do melhor projeto de Cubos C³ na última população

evoluída. Adotou-se uma codificação ASCII compacta para descrever os Cubos C³, já que ela será lida e processada apenas pelo servidor local.

O servidor local, por sua vez, acessa a página Web supracitada em intervalos de tempo regulares, coleta as informações sobre o projeto mais recente e as envia para os cubos por radiofrequência. O servidor local também apresenta uma interface para os participantes informarem a avaliação que fizeram dos cubos *in loco* e a transmite para o ambiente virtual.

Os cubos reais, de modo similar, tiveram sua codificação alterada. Antes, eles apresentavam um comportamento fixo, programado em linguagem C e instalado nos seus controladores Arduino. Agora, eles possuem um módulo de software que faz a função de carregador e de interpretador de máquinas de estados. A máquina de estado a ser executada por cada cubo é recebida do servidor local sempre que há uma atualização do projeto e substitui a máquina previamente armazenada na memória volátil do Arduino.

Conclusão

Neste trabalho foi apresentada uma nova abordagem para modificar comportamentos para os Cubos C³, a partir da geração semiautomática de códigos de programação C, com auxílio da Computação Evolutiva Interativa e um ambiente virtual de simulação na Web. Na abordagem, os usuários do sistema são responsáveis por experimentar e avaliar projetos de Cubos C³ por meio de um simulador 3D, enquanto um algoritmo evolutivo se encarrega de gerar novos projetos utilizando as soluções anteriores e as avaliações humana.

Como parte da pesquisa, foi projetada ainda uma forma de integrar essa abordagem com os cubos reais, de modo que os projetos de cubos produzidos por usuários na Web possam ser imediatamente experimentados e avaliados presencialmente por interatores em congressos, exposições, dentre outros eventos. A proposta de integração desses dois ambientes, virtual e real, não apenas reduz significativamente o tempo e o esforço para passar para os cubos reais aquilo que está sendo criado em um sistema de simulação, como também abre uma nova perspectiva de colaboração entre participantes presenciais e remotos na construção de um design de interação. Acreditamos que aspectos de interação e de *feedback* que somente são percebidos quando utilizando os cubos reais e em um espaço físico específico podem agora, por meio dessa integração, ser tratados dentro do processo de computação evolutiva.

Como trabalhos futuros, pretende-se melhorar a aproximação por funções *surrogate* de modo a estender o seu benefício por mais iterações do processo evolutivo. Também está sendo considerada a possibilidade dos usuários remotos, na Web, fornecerem máquinas de estados já prontas para serem inseridas na população corrente durante o processo evolutivo. Essas máquinas podem ser criadas e/ou melhoradas manualmente pelos usuários utilizando a ferramenta C³-GUI. Por fim, deseja-se in-

investigar o efeito e a experiência de realizar simultaneamente várias instalações dos cubos C³ reais em locais distintos, mas todas conectadas com o mesmo ambiente virtual de simulação.

Referências

- DO NASCIMENTO, H. A. D.; DE SOUSA ROCHA, C.; DE OLIVEIRA, L. W.; TANNÚS, H. C. & HOELZEL, C. G. M. C³ – Cubos interativos. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL – SIGraDi, 9., 2015 Florianópolis. **Anais Interactive Art**, Florianópolis 2015, p. 300-305.
- DRAVES, S. The electric sheep screen-saver: A case study in aesthetic evolution. In: **Workshops on Applications of Evolutionary Computation**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. p. 458-467.
- GUIMARÃES, G. A.; PEREIRA, Y. M. D.; DO NASCIMENTO, H. A. D.; ROCHA, C. S. Programação Visual para os Cubos Interativos C3. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INOVAÇÃO EM MÍDIAS INTERATIVAS, 6., 2016, Goiânia. **Anais do SIIMI** Goiânia: Media Lab / UFG, 2016, p. 572-583.
- HASTINGS, E. J.; GUHA, R. K.; STANLEY, K. O. Evolving content in the galactic arms race video game. In: **Computational Intelligence and Games, 2009. CIG 2009. IEEE Symposium on**. IEEE, 2009. p. 241-248.
- KIM, Y.; MORAGLIO, A.; KATTAN, A.; YOON, Y.. Geometric generalisation of surrogate model-based optimisation to combinatorial and program spaces. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2014, 2014.
- MADERA, Q.; CASTILLO, O.; GARCIA, M.; MANCILLA A.; Interactive evolutionary computation with adaptive mutation for increasing the effectiveness of advertisement texts. In: **Computational Intelligence (SSCI), 2016 IEEE Symposium Series on**. IEEE, 2016. p. 1-6.
- MAKIWAN, D.; YOSHIDA, K.; KOPPEN, M. Interactive evolutionary computation of color palette design enhanced by impression words. In: **Platform Technology and Service (PlatCon), 2017 International Conference on**. IEEE, 2017. p. 1-6.
- OLIVEIRA, V. M. **Evoluindo comportamentos para um artefato de arte interativa baseado em cubos**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação), Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, 2017.
- OLIVEIRA, V. M.; DO NASCIMENTO, H. A. D. Criação automática de interações para o projeto C³. CONPEEX – CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 13., 2016, Goiânia. **Anais XIII Seminário de Pós-Graduação**. Goiânia: INF/UFG, 2016, p. 2629-2633.
- ROMERO, J. J.; MACHADO, P. **The art of artificial evolution: a handbook on evolutionary art and music**. Springer Science & Business Media, 2007

SIIMI/2018

V simpósio internacional de
inovação em mídias interativas

V international symposium on
innovation in interactive media

MAIO
9-11
UFG/BR

SIMS, K. Artificial evolution for computer graphics. **ACM SIGGRAPH Computer Graphics**, New York, v. 25 n. 4, p. 319-328, jul. 1991

SUN, X. Y.; GONG, D.; LI, S. Classification and regression-based surrogate model-assisted interactive genetic algorithm with individual's fuzzy fitness. In: **Proceedings of the 11th Annual conference on Genetic and evolutionary computation**. ACM, 2009. p. 907-914.
