

Avaliação de Desempenho Humano como Parte Integrada da Metodologia de Criação de Jogos Sérios para Treinamento

Rafaela Vilela da Rocha¹, Regina Borges de Araujo¹

¹Departamento de Computação – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
Caixa Postal 676 – CEP 13565-905 – São Carlos – SP – Brasil

{rafaela_rocha, regina}@ufscar.br

Abstract. *This paper describes a methodology to design and implement the human performance evaluation in serious games for training, based on procedures and human error dimensions. The differential of this methodology is the collaborative development of serious games that integrates the requirements of games, simulations and training with the application domain, in formal models that have evaluation points for trainee performance measure in simulation. State-of-the-art in development of human evaluation for serious games is introduced and compared with the proposed solution. As proof of concept, we present the design and development of the evaluation of a serious game for fire combat. Experiences and challenges met are also described.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma metodologia para construir e desenvolver avaliação de desempenho de aprendizes em jogos sérios, baseado em procedimentos e normas e nas dimensões de erros humanos. O diferencial desta metodologia é o desenvolvimento colaborativo de jogos sérios que integra os requisitos de jogos, simulações, treinamento ao domínio de aplicação, em modelos formais que contem os pontos de avaliação e feedback dentro da simulação. O estado da arte é apresentado e comparado com a solução proposta. Como prova de conceito, é apresentado o design e desenvolvimento da avaliação para um jogo sério de combate a incêndio. As experiências obtidas e os desafios encontrados são também descritos.*

1. Introdução

Aprimorar profissionais requer treinamento contínuo, o que nem sempre é possível devido aos custos ou riscos à vida, ao patrimônio ou ao meio ambiente, envolvidos em alguns postos de trabalho [Green III, 2000]. Jogos sérios possibilitam treinamento intensivo, com segurança, por muitas pessoas, e efetivo (estudos no setor médico indicam a diminuição de erros em 37%) [Novack, 2010]. Jogos sérios de treinamento permitem aprendizes praticar e adquirir conhecimentos, habilidades e competências que podem ser transferidas para o mundo real utilizando ambientes virtuais interativos [Chung, 2004; Maciuszek et al., 2011; Mattar, 2010; Messineo et al., 2011; Prensky, 2007]. Neles, os aprendizes assumem um papel e tomam decisões que serão refletidas imediatamente no ambiente simulado. *Feedbacks* de erros e acertos possibilitam a reflexão sobre as ações tomadas. A possibilidade de jogar várias vezes e tomar diferentes decisões, além de aplicar experiências prévias em novos desafios, permite a prática e o aprimoramento da aprendizagem.

Entretanto, estudos apresentam que para o treinamento ser eficaz é necessário criar jogos sérios que atendem aos requisitos de aprendizado e treinamento, além dos requisitos de jogos (jogabilidade, interatividade, imersão, engajamento, *feedback*) e de simulações

(fidelidade ao criar um ambiente virtual que possibilita experimentação e reflete processos e sistemas do mundo real) [Harteveld, 2007; Hays, 2005; McClarty, 2012]. Os requisitos de aprendizado e treinamento incluem: definir objetivos claros de treinamento (que devem ser informados ao aprendiz) em um contexto significativo, incluir desafios e a possibilidade do aprendiz experimentar soluções e errar, avaliar constantemente o desempenho do aprendiz e dar *feedback* durante o jogo e ao final. Entretanto, esta avaliação é complexa, pois não há um objeto pré-definido, mas sim um ambiente de experimentação com possibilidade de erros e acertos, no qual é necessário avaliar o processo além do resultado [Ratwani, 2010]. Ainda mais, é necessário capturar o conhecimento do domínio para planejar e criar esse ambiente de treinamento e sua avaliação. Isto requer uma equipe multidisciplinar que inclui desde engenheiros e designers de jogos até treinadores e especialistas no domínio.

Várias metodologias abordam o design instrucional e a avaliação, entretanto não há processos e integração de equipes multidisciplinares para cobrir todos os outros requisitos. Além de que, poucos jogos sérios de treinamento oferecem medição e avaliação de desempenho do aprendiz, ou descrevem como a avaliação pode ser feita. Ainda mais, há muitas pesquisas em áreas inter-relacionadas mas que não são usadas para beneficiar o design, desenvolvimento e uso de jogos sérios de treinamento.

O objetivo deste artigo é apresentar uma metodologia para construir e implementar a avaliação em jogos sérios para treinamento, baseado em atividades e procedimentos-padrão e dimensões de erros humanos, em conjunto com os especialistas na área de domínio da aplicação. Além do desenvolvimento colaborativo para satisfazer os requisitos de jogos, simulações e treinamento (parte da metodologia descrita em [Rocha e Araujo, 2013]), o diferencial abordado neste trabalho é a construção de um ambiente não-linear, que possibilita o aprendiz acertar ou errar, modelado com formalismos, os quais permitem avaliação contínua do que o jogador está fazendo (processo) além da avaliação no final do jogo (resultado).

O artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2 são descritos os fundamentos e o estado da arte em desenvolvimento de avaliação para jogos sérios de treinamento, incluindo seus requisitos, desafios e áreas interdisciplinares de pesquisa. A seção 3 apresenta a metodologia proposta e um jogo sério de combate a incêndio, como prova de conceito e exemplificação da metodologia, que foi planejado em conjunto com o Corpo de Bombeiros. Finalmente, na seção 4 são apresentados as Conclusões e os Trabalhos Futuros.

2. Fundamentação e Estado da Arte

Jogos sérios para treinamento são resultantes da intersecção das áreas de jogos, simulações e treinamentos, conforme ilustrado na Figura 1. Há ainda composições: simulações de treinamento focam no comportamento de sistema ou processo; jogos educacionais não simulam estes comportamentos; e jogos de simulação que embora tenham gráficos realistas e simulem sistemas, eles não compreendem os aspectos de aprendizagem e treinamento, tais como suporte a avaliação contínua e *feedback*, de acordo com os objetivos do treinamento, que são importantes para a eficácia da aprendizagem [Maciuszek, 2010].

A avaliação em jogos sérios para treinamento pode ter dois propósitos diferentes: avaliar o treinamento e cenário desenvolvido (jogo sério e treinamento em si); ou avaliar a o desempenho humano. No último caso, ele deve determinar o grau em que os aprendizes aplicam as competências adquiridas (conhecimento, habilidade e atitude) em situações semelhantes ou novos problemas; deve analisar e determinar as causas do bom e mau

desempenho, fornecer um diagnóstico, consolidar as atitudes certas e corrigir as deficiências do usuário [Salas, 2009; Salas e Rosen, 2007].

Além de pesquisas com simulações, jogos, treinamentos e suas áreas compostas, há pesquisas interdisciplinares com foco em criar teorias, modelos e diretrizes no domínio de aplicação ou treinamento. Elas são desenvolvidas por especialistas no domínio, psicólogos, engenheiros cognitivos e pedagogos, e podem também beneficiar o design e desenvolvimento de jogos sérios, embora tenha que haver uma integração, muitas vezes inexistente, com a equipe de designers e programadores, que criam os jogos sérios. A Figura 2 apresenta uma visão geral desta interdisciplinaridade: a área de jogos sérios que compreende principalmente jogos sérios, jogos educacionais e simulações de treinamento; a área de treinamento que envolve também a aprendizagem, psicologia e engenharia cognitiva; e o domínio de aplicação que compreende normas e procedimentos que padronizam e regulamentam as atividades, processos e sistemas existentes. A intersecção destas áreas permite o desenvolvimento de: teorias e modelos de treinamento (além dos próprios jogos sérios para treinamento); teorias de erros humanos e estudos das competências necessárias para desenvolver as atividades no domínio de aplicação (além de exercícios simulados para treinamento no ambiente real); e os próprios jogos sérios e simuladores no domínio de aplicação.

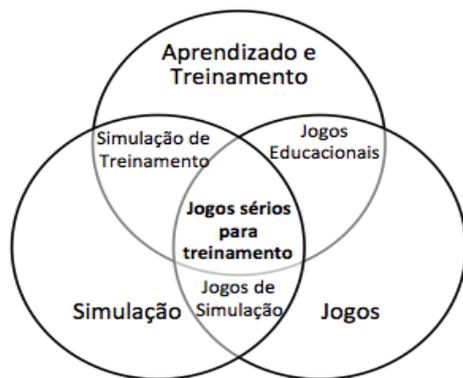


Figura 1. Composição de Aprendizagem & Treinamento, Simulação e Jogos (adaptado de Marciszek et al. [2012]).



Figura 2. Composição de Pesquisas em Áreas Interdisciplinares: Treinamento, Jogos Sérios e Domínio de Aplicação.

Este trabalho abrange jogos sérios para fins de treinamento e avaliação de habilidades técnicas dos aprendizes em diferentes domínios de aplicação. Um estudo de caso, no domínio de emergência (extinção de incêndio), foi implementado para validar a metodologia proposta, que foi criada e aperfeiçoada a partir de experiências práticas no desenvolvimento de jogos sérios para treinamento em gerenciamento e resposta a emergência e educação de crianças sobre sua conduta no trânsito. A metodologia visa integrar equipes multidisciplinares para criar jogos sérios que atendam seus requisitos e desafios beneficiando-se das pesquisas relacionadas. Os principais requisitos e desafios são apresentados a seguir, bem como os trabalhos relacionados.

Os requisitos para se criar um jogo sério inclui os requisitos de jogos, simulações, aprendizado e treinamento, além de seus próprios requisitos. Jogos devem principalmente ser interativos, não lineares, engajadores, e desafiantes. Simulações devem representar processos, sistemas e ambientes do mundo real de forma a garantir sua fidelidade, com o grau de representação ou abstração ideal para isto. Enquanto que jogos sérios devem:

- ter os **objetivos de treinamento bem definidos**, bem como o **processo de treinamento e aprendizagem** bem planejado [Salas e Cannon-Bowers, 2001]. A análise e

projeto do cenário do treinamento em conjunto com os objetivos de aprendizagem e a forma que o jogador será avaliado é importante para garantir a eficácia do treinamento, pois é necessário que o jogador saiba quais são os objetivos instrucionais do jogo e obtenha o *feedback* do seu treinamento [Ratwani, 2010].

▪ **medir e avaliar constantemente o desempenho do jogador** (durante todo o processo de treinamento) e não somente no final (resultado do jogo), e **fornecer *feedback*** após o jogo [Mattar, 2010; Salas e Cannon-Bowers, 2001]. Dessa forma, é possível verificar o momento e ação que o jogador errou e fornecer um *feedback* preciso, ou que ele acertou e garantir que os objetivos de aprendizagem foram alcançados.

O principal desafio é **equilibrar o jogo** (jogabilidade - regras, comportamentos e objetivos, além de motivações para realiza-los; interatividade; incerteza, engajamento; fluxo), com o **realismo** (objetivos aprendizagem, grupo alvo, desafios) e **pedagogia** necessária (reflexão, experiência, exploração, aprendizagem incremental) [9]. Para isto, é preciso entender o contexto do jogo, o que está sendo simulado, o que se quer ensinar e treinar (treinamento e aprendizado estão ligados com avaliação, tanto na sua construção quanto na sua aplicação), quais são seus desafios e possibilidades de conclusão, para que o jogo não seja linear e cansativo [Mattar, 2010].

Um exemplo desta complexidade é o cenário de incêndio para treinamento do protocolo de extinção do fogo. Nele, tanto o cenário de incêndio (local, combustível, fase e intensidade do incêndio) quanto o protocolo (combates específicos para cada um) pode variar, da mesma forma que seus resultados (as conclusões do jogo): pode haver a extinção do incêndio ou vários tipos de explosões devido às ações do usuário (p. ex., explosão por *boil over* como resultado do aprendiz ter jogado água em um tanque contendo óleo de cozinha) ou condições do próprio ambiente/contexto do jogo (p. ex., explosão por ignição súbita dos combustíveis no local por causa do progresso do incêndio). Entretanto, mesmo se o resultado for a extinção do fogo (sucesso no combate), o aprendiz pode ter errado durante o processo. Desta forma é necessário também entender e analisar as dimensões que humanos podem errar para criar uma avaliação mais precisa.

Segundo Hollnagel [Hollnagel, 2012; Hollnagel et al. 2011], há oito dimensões para os erros humanos: tempo, duração, distância, direção, velocidade, força e pressão, objeto e sequência. O Quadro 1 apresenta uma descrição dessas dimensões com exemplos de erros no cenário de extinção do incêndio. A partir da análise dos erros que podem acontecer no treinamento planejado é possível definir as métricas que devem ser capturadas durante o treinamento, i.e. todas as ações dos jogadores e o tempo que elas acontecerão devem ser capturadas, incluindo os parâmetros destas ações. Por exemplo no uso do jato de água, a pressão e vazão devem ser também capturadas, bem como, o momento em que ele foi acionado e desacionado (para calcular a duração, além de verificar o tempo em si), a posição que ele está, e a direção para onde ele foi apontado.

Quadro 1. Dimensão de erros humanos e suas consequências - Requisitos de medição de desempenho.

| Dimensão e Descrição | Erros | Consequências |
|---|---|--|
| Tempo: ação realizada cedo ou tarde demais, ou omitida | o jato de água é acionado muito depois do tempo ideal (bombeiro demorou para começar a apagar o incêndio) | aumento do incêndio |
| Duração: ação foi curta ou longa demais | o jato de água é aplicado em um tempo breve ou demorado demais | o incêndio pode não apagar ou pode haver distúrbios no balanço térmico |
| Direção: ação foi realizada na direção errada | o bombeiro apontou o jato de água para em outra direção | o incêndio não estará sendo extinto e há um mau emprego da água |

| | | |
|--|---|---|
| Distância: objeto ou controle foi movido para perto ou longe demais | o bombeiro se aproximou demais do incêndio ou está muito longe | risco de queimaduras ou o jato de água pode não alcançar o incêndio (i.e., o incêndio não estará sendo extinto e há um mau uso da água) |
| Velocidade: ação foi realizada devagar ou rápida demais | o jato de água deveria ser aplicado na vazão de 800 LPM (litros por min.) durante meio minuto, mas foi aplicado na vazão de 400 LPM durante um min. | pode haver distúrbios no balanço térmico, pois o combate foi muito devagar enquanto deveria ser rápido e preciso |
| Força e pressão: ação foi realizada com pouca ou muita força ou pressão | o jato de água deveria ser aplicado com a pressão de 1.100 kPA (Kilopascal) mas foi aplicado com pressão diferente | o incêndio pode não apagar ou pode haver distúrbios no balanço térmico |
| Objeto: ação foi realizada com objeto errado; no objeto errado (parte ou todo); objeto pode estar perto, ser similar ou não | o bombeiro usou o esguicho de vazão universal ao invés de usar o de vazão regulável para conseguir um jato de neblina; ou usou o esguicho correto mas jogou água em um equipamento elétrico | devido as características deste incêndio, ele demorará mais para ser combatido e haverá maior uso de água; e água em equipamento elétrico: ocorre arco elétrico |
| Sequência: erros na ordem das | ações que podem variar: | |
| - <i>Repetição:</i> uma parte da sequência é repetida por erro | o bombeiro vistoria o local duas vezes para verificar se há vítimas; | atraso no início do combate ao incêndio |
| - <i>Omissão e esquecimento:</i> uma parte da sequência foi esquecida ou pulada | o bombeiro não vistoria o local para verificar se há vítimas ou não coloca todo o equipamento de proteção (EPI) | risco de morte (vítima ou bombeiro) |
| - <i>Inversão:</i> duas partes da sequência são trocadas | o bombeiro primeiro vistoria se há vítimas antes de colocar todo o EPI | risco de morte (bombeiro) |
| - <i>Ações erradas;</i> ações feitas são irrelevantes ou incorretas | o bombeiro deixa o posto de combate e volta depois de um tempo | atraso no combate ao incêndio |

3. Metodologia Proposta e Prova de Conceito

A metodologia de avaliação descrita aqui é parte da metodologia apresentada em Rocha e Araujo [2013], que pode ser vista na Figura 3, mas com o foco para o processo de avaliação e *feedback*, já que o artigo anterior aborda principalmente a integração de jogo, simulação e treinamento, e a avaliação não é detalhada. Este artigo foca na avaliação do desempenho do aprendiz durante a execução do jogo sério em si, ao contrário de um trabalho precedente [Rocha et al., 2011] que engloba essa avaliação durante todo o processo de ensino-aprendizado, que contém objetos de aprendizagem além de simulações de treinamento.

Esta metodologia foi criada a partir de pesquisas exploratórias e bibliográficas e de experiências no desenvolvimento de jogos sérios, dos autores e outros pesquisadores envolvidos, em conjunto com especialistas no domínio de aplicação. Experiências de desenvolvimento ocorreram em dois semestres (1/2012 e 1/2013) de uma disciplina de graduação (Simulação Interativa Distribuída) na UFSCar e em estágio na Universidade de *Linköping* (Suécia). A disciplina serviu como um laboratório de observação, experimentação e aprimoramento da metodologia e foram criados 20 diferentes treinamentos. No primeiro semestre foram criados 13 treinamentos em resposta a emergências (de salvamentos a combates a incêndio). No segundo semestre foram criados mais 07: quatro para treinamento de resposta a emergência (dois operacionais e dois de comando) e três para educação de crianças no trânsito. Os treinamentos foram diversificados para permitir que a metodologia contemplasse diferentes domínios.

Uma breve descrição da metodologia é apresentada nesta seção com o foco na descrição do design da avaliação e *feedback* (detalhes estão em Rocha e Araujo [2013]). Para ilustrar o uso da nossa metodologia é apresentado o planejamento e produção de um jogo sério para treinamento de extinção de incêndio.

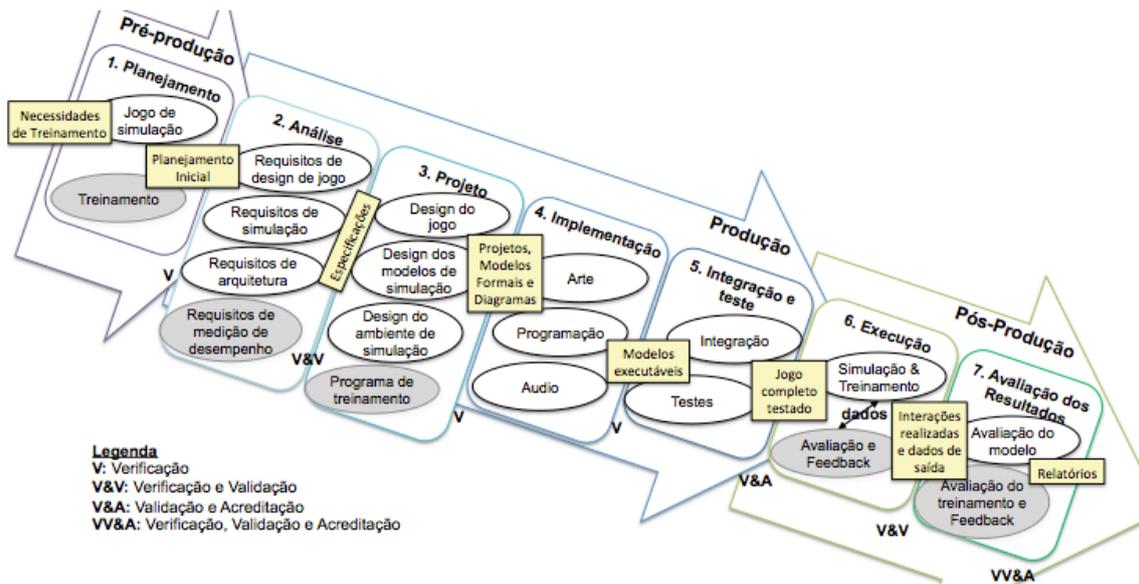


Figura 3. Metodologia de Design de Jogos Sérios para Treinamento: destaque para os processos de desenvolvimento de treinamento com avaliação e feedback (adaptado de Rocha e Araujo [2013]).

Na primeira fase, um planejamento inicial (visão geral do treinamento e simulação) deve ser descrito a partir das necessidades de treinamento. Estas necessidades devem estar de acordo com os objetivos da organização e necessidades de capacitação dos seus profissionais. Field et al. [2010] descrevem os conhecimentos, habilidades e competências básicas para profissionais de preparação e resposta a emergência. Se possível, recursos de treinamentos existentes devem ser utilizados, por exemplo, há uma diretriz no Corpo de Bombeiros que descreve um roteiro para a realização de exercícios simulados reais [São Paulo, 2003]. Assim, nesta fase, baseados nesses documentos, foram definidas as informações básicas do treinamento e simulação (o que, por que, onde, quando, quem, como).

Na segunda fase, os requisitos devem ser analisados: de design de jogo, de simulação, de arquitetura (se for treinamento distribuído) e de medição de desempenho. Um modelo de documento de requisitos foi criado a partir do documento de design de games e dos requisitos de simulação. As métricas de avaliação são criadas a partir do que se quer avaliar (acertos e erros). A sequência correta é analisada a partir dos protocolos, procedimentos e normas existentes para a atividades a ser treinada. Os erros que podem acontecer são analisados a partir das dimensões de erros humanos [Hollnagel, 2012; Hollnagel et al., 2011], em conjunto com especialistas do domínio (entrevista) e os manuais existentes. Dada a identificação do que pode acontecer no cenário (decisões tomadas pelos jogadores), um modelo formal será criado na próxima fase e validado com os especialistas. Para o cenário de incêndio em residência, os requisitos de design de jogos são bombeiros, residências, vítimas quando houver e objetos relacionados que integram o mundo do jogo; botões na tela e teclado e mouse como interface de interação; áudio, texturas, modelos 3D e animações como recursos. Os requisitos de simulação são apresentados no quadro 2 e os requisitos de medição de desempenho no Quadro 1. Não há requisitos de arquitetura na v.1 do treinamento individual. Uma v.2 será especificada e implementada utilizando a arquitetura HLA (*High Level Architecture* - arquitetura para reuso e interoperabilidade de simulações distribuídas). Os requisitos de medição de desempenho compreendem capturar as interações do jogador com a simulação, o seu tempo, seus parâmetros (por exemplo, se a interação for acionar jato de água, então os parâmetros serão o tempo, a posição, a direção, a vazão e pressão, etc.) e os resultados do treinamento.

Quadro 2. Requisitos de Simulação.

| Nível de fidelidade - Dimensão Funcional |
|--|
| Informações que o usuário precisa para realizar a tarefa: Dados sobre a emergência e sua situação atual. |
| Como ele obterá as informações: Apresentação de uma breve descrição do cenário (texto) e visualização da cena (ambiente virtual 3D). |
| Ações que o usuário deve fazer para realizar a tarefa (sequencia correta – pode ser um POP ou lista de ações criada a partir das normas e entrevista): Realizar o protocolo de ataque indireto na sequência correta: Reconhecer o tipo de incêndio; Verificar a presença de vítimas e o estado da construção; escolher a ponta de mangueira adequada; ir até o local próximo o adequado e apontar o jato em direção ao teto do local com incêndio; 5. Determinar a vazão e pressão da água; 6. Acionar o jato de água pelo tempo determinado (de 20 a 30 seg.); 7. Esperar (20 a 30 segundos) e verificar se o fogo foi extinto. |
| Como o usuário faz estas ações: O jogador interage com o ambiente virtual 3D- clique do mouse (em portas, esguicho) e teclado (setas para caminhar, manter esguicho acionado) e interface 2D. |
| Que <i>feedback</i> será apresentado se a tarefa foi cumprida corretamente ou não: Informação textual sobre sucessos e erros; e representações 3D das consequências das ações, por exemplo, fogo, água, explosão. |
| Erros e falhas que o usuário poderá cometer e o que isto ocasionará (quadro de erros e consequências): Realizar ações fora da sequência de combate, usar esguicho errado, e outros conforme Quadro 1. |
| Nível de fidelidade - Dimensão Física |
| Qualidade da som: Comunicação por rádio com ruídos de equipamentos e pessoas ao redor. |
| Resolução: Representação 3D de bombeiros e prédios (paredes com detecção de colisão) e sistemas de partículas (água, fogo) com alto nível de representação. Interface 2D para ações e <i>feedbacks</i> . |

Na terceira fase, os requisitos devem ser analisados para projetar o documento de design do jogo (estrutura e funcionalidades), os modelos de simulação (comportamentos e avaliação), o ambiente de simulação distribuída e o programa de treinamento. Estes documentos são interdependentes e vários artefatos podem ser usados para representá-los. Como o objetivo da nossa metodologia é integrar equipes multidisciplinares, então os artefatos devem ser de fácil compreensão por todos envolvidos.

- **Design do jogo:** *storyboards* são utilizados pois auxiliam o entendimento do cenário e do treinamento e possibilitam descrever as interfaces de interação e o fluxo de ações. Eles são utilizados conforme descrito no trabalho de Rankin [2011], porém em conjunto com os Procedimentos Operacionais Padrões (POP's são padronizações das funções desempenhadas em uma organização [Grusenmeyer, 2003]) ou regras e normas que permitem descrever a sequência básica das funções a serem treinadas. Os *storyboards* e a sequência do treinamento são validadas com os especialistas. POP's e *storyboards* possibilitam capturar conhecimento e adaptar ideias durante o processo de design [Rankin, et al., 2011; Grusenmeyer, 2003].

- **Design dos modelos de simulação:**

- Modelos estruturados: diagramas UML são utilizados, tais como, diagramas de classes e objetos para descrever os atributos e funções dos objetos simulados (por ex., fogo, esguicho de água, etc.).

- Modelos comportamentais: diagramas UML são utilizados para descrever os objetos simulados, tal como, diagrama de eventos; e modelos formais são utilizados para descrever o comportamento do procedimento de treinamento (por ex., ataque indireto ao incêndio), tais como, DEVS (Especificação de Evento Discreto) e DFA (Autômato Determinístico Finito) para modelos com estados e transições bem definidas, e FIS (Sistema de Inferência Fuzzy) para transições imprecisas (por ex., em um incêndio). O modelo formal possibilita identificar pontos de avaliação e tomada de decisão do jogador, por meio dos seus estados e transições. Quando o jogador faz uma ação, isto corresponde a uma transição que leva a um novo estado que pode ser correto ou incorreto, e o jogador recebe este *feedback* (por ex., ocorrência de uma explosão).

▪ **Programa de treinamento:** pode ser utilizadas normas do tipo NBR ISO 10015 [ABNT, 2001], cujo objetivo é definir os objetivos de treinamento, o público alvo, a metodologia e conteúdo, além dos critérios para avaliação dos resultados do treinamento.

Para o cenário apresentado, *storyboards*, diagramas de classes e DEVS foram projetados e validados em conjunto com especialistas. As segunda e terceira fases (análise e projeto) são repetidas até serem validadas com os especialistas e, se necessário, o planejamento inicial também pode ser alterado (primeira fase). Além disso, após a implementação de um protótipo inicial, pode ser necessário modificar itens das fases anteriores de acordo com os testes e resultados.

Na quarta fase, os recursos de arte e áudio devem ser criados e modelados (imagens, modelos 3D, texturas e animações) e os scripts programados (usando ferramentas e motores gráficos, de jogos, física, etc.). O motor de jogos Unity3D© (Unity Technologies-<http://unity3d.com/>) foi utilizado em conjunto com a linguagem C# para programação dos modelos de simulação em nosso projeto. Animações simples e sistemas de partículas (para o incêndio, jato de água, explosão) foram criados usando os recursos deste motor. Modelos 3D foram reusados do repositório do 3DWarehouse© (Google- <http://sketchup.google.com/3dwarehouse/>), e áudios e texturas de repositórios gratuitos encontrados na Internet.

Na quinta fase, todos os *Assets* do jogo e modelos de simulação (*scripts*) foram integrados. Testes foram realizados para garantir a correta execução das funcionalidades do jogo (testes de interface e interação, de colisão, de efeitos sonoros e de jogabilidade).

Na sexta fase, o jogo sério é executado. As interações realizadas pelo jogador são avaliadas e o *feedback* é fornecido continuamente. Conforme é apresentado na Figura 4, o *feedback* é visualizado no ambiente virtual na forma de informações textuais sobre sucessos e erros, e representações 3D das consequências das ações, como por exemplo, animação da porta abrindo, jato d'água acionado e explosão. Todas as interações e os dados de saída são capturados (e registrados em logs) para serem utilizados na revisão após-ação pelo instrutor.

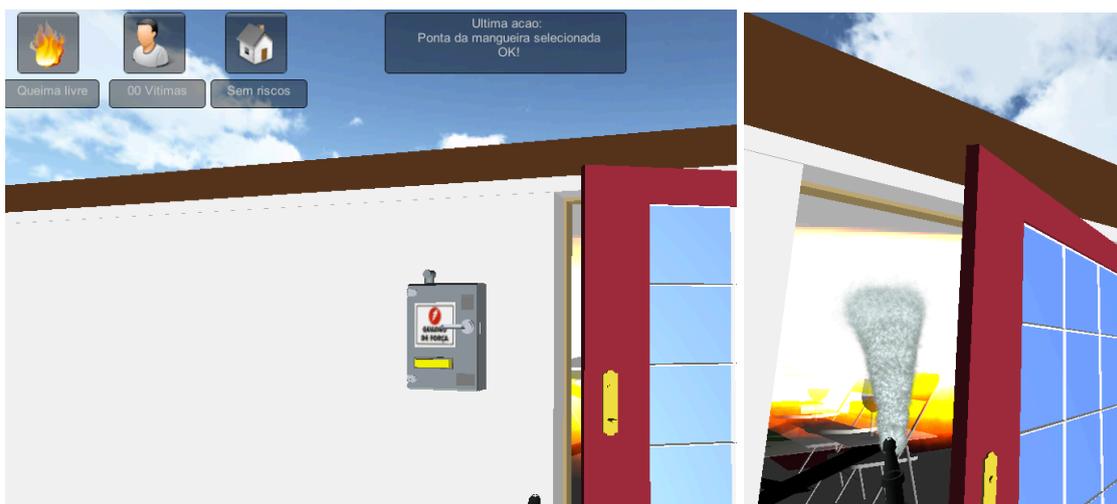


Figura 4. Visão do jogador do combate a incêndio em residência: esguicho selecionado (esquerda) e jato de água acionado (direita).

Na última fase, os dados gerados durante a simulação são utilizados para avaliar o próprio modelo de simulação e também o desempenho do aprendiz no treinamento, conforme é apresentado na Figura 5. Outros relatórios podem ser gerados para os interessados (aprendiz, instrutor, organização).

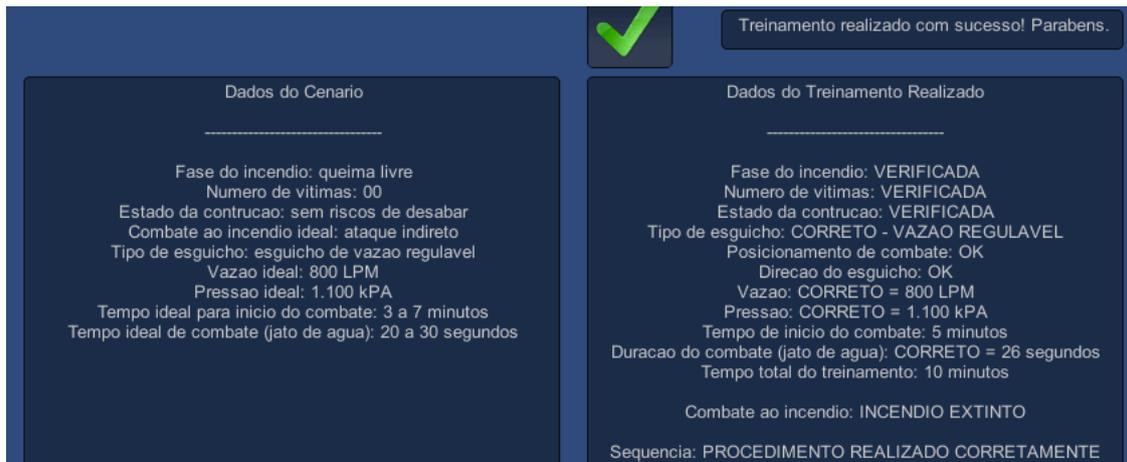


Figura 5. Relatório final do desempenho do aprendiz apresentado no final do treinamento.

A metodologia criada é iterativa e multidisciplinar: após cada etapa houve a verificação e validação com especialistas e o resultado foi utilizado para melhorar o planejamento inicial, a documentação dos requisitos, os artefatos de *design* criados (*storyboards*, diagramas UML, modelos DEVS e DFA) e os protótipos do jogo, inclusive a avaliação e *feedback* para o aprendiz.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

Jogos sérios devem ser desafiantes, além de fornecer um ambiente virtual interativo no qual o aprendiz pode assumir papéis, experimentar e fracassar. É importante também a avaliação contínua e o *feedback* imediato para que o treinamento seja eficiente, pois permite que o aprendiz reflita sobre seus erros e aprenda. Além de que, é necessário que todos os requisitos do jogo, da simulação e do treinamento sejam atendidos.

Este artigo apresentou uma metodologia para design e desenvolvimento de avaliação e *feedback* do desempenho de aprendizes em jogos sérios. O diferencial deste trabalho é o desenvolvimento de jogos sérios a partir de normas e protocolos utilizados no domínio de aplicação e da análise das dimensões de erros humanos que podem acontecer no jogo em conjunto com especialistas do domínio. Isto permite criar um modelo interativo não-linear que abrange tomadas de decisões corretas e incorretas. Este modelo é representado com formalismos (DFA, DEVS), nos quais seus estados são pontos de avaliação e *feedback* e as transições são as próprias ações que podem ser realizadas. O resultado é uma avaliação contínua e precisa do que o jogador fez com *feedback* imediato das consequências, além da avaliação ao final do jogo. Além disso, a metodologia pode contribuir para o aumento da eficiência e eficácia na produção de jogos sérios e do desenvolvimento de avaliação de desempenho do jogador.

Um jogo sério distribuído está sendo desenvolvido (fase de integração e testes) utilizando uma arquitetura de suporte distribuída que está sendo implementada. Após esta etapa serão feitos testes e avaliações da simulação e dos desempenhos dos aprendizes referentes a habilidades técnicas (uso de equipamentos e protocolos) individual e em equipe (que envolverá a avaliação dos eventos espaço-temporais que já são capturados durante a execução do jogo sério). Como trabalhos futuros, habilidades não técnicas, tais como, comunicação, tomada de decisão, percepção da situação e liderança, serão integradas aos treinamentos desenvolvidos.

Agradecimentos

Este projeto está sendo financiado pelo CNPq (Processo 480291/2012-8), FAPESP e CAPES (Projeto INCT-SEC, processos 2010/07179-8, 08/57870-9, 237216/2012-4, 143567/2011-0, 573963/2008-8). Os autores gostariam de agradecer ao Corpo de Bombeiros da cidade de São Carlos por seu apoio, e aos alunos de IC e graduação pelas contribuições.

Referências

- ABNT (2001). “NBR ISO 10015:2001- Gestão da qualidade- Diretrizes para treinamento”. RJ: ABNT.
- Chung, C.A. (2004) “Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach”. CRC Press: Boca Raton.
- Field, J. et al. (2010) “Revised Crisis Management User and Training Requirements Report”. CRISIS - Critical incident management training system using and interactive simulation environment.
- Green III, W.G. (2000) “Exercise Alternatives for Training Emergency Management”. Command Center Staffs, USA: Universal Publishers.
- Grusenmeyer, D. (2003) “Developing Effective Standard Operating Procedures”. In: Dairy Farm Business Management Articles. Disponível em: <http://www.ansci.cornell.edu/pdfs/sopsdir.pdf>.
- Harteveld, C. et al. (2007) “Balancing pedagogy, game and reality components within a unique serious game for training levee inspection”. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Technologies for E-Learning and Digital Entertainment, pp. 128-139. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Hays, R.T. (2005) “The Effectiveness of Instructional Games: A Literature Review and Discussion”. Technical Report. Jul-Oct 2005. Naval Air Warfare Center Training Systems Div. Orlando FL.
- Hollnagel, E. (2012) “FRAM: The Functional Resonance Analysis Method - Modelling Complex Socio-technical Systems”. USA: Ashgate.
- Hollnagel, E. et al. (2011) “Resilience Engineering in Practice: A Guidebook”. England: Ashgate.
- Maciuszek, M. et al. (2012) “Seamless integration of game and learning using modeling and simulation”. In: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012), pp. 1611-1620, 9-12 Dec, 2012.
- Mattar, J. (2010) “Games em educação: como os nativos digitais aprendem”. São Paulo: Pearson.
- Messineo, L. et al. (2011) “Game-based Learning for Education and Training in the Health Sector”. In: 4th International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI2011), pp. 3341-3353.
- McClarty, K.L. (2012) “A Literature Review of Gaming in Education”. Pearson’s Research Report. 6-2012.
- Novack, J. (2010) “Desenvolvimento de Games- Tradução da 2a. ed. norte-americana”. SP: Cengage.
- Prensky, M. (2007) “Digital Game-Based Learning”. New York: McGraw-Hill.
- Rankin, A. et al. (2011) “Training systems design: bridging the gap between users and developers using storyboards”. In: Proceedings of the 29th Annual European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE '11). ACM, New York, NY, USA, pp. 205-212.
- Ratwani, K.L. (2010) “Game-Based Training Effectiveness Evaluation in an Operational Setting”. Study Report 2010-02. Disponível em: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA530660>.
- Rocha, R.V.; Araujo, R.B. (2013) “Metodologia de Design de Jogos Sérios para Treinamento: Ciclo de vida de criação, desenvolvimento e produção”. In: XII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2013), pp.1-10.
- Rocha, R.V. et al. “Sistema Integrado para Avaliação de Desempenho Humano em Simulações Interativas”, In: XXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, v. 22, p. 436- 445, 2011.
- Salas, E.; Cannon-Bowers, J. A. (2001) “The science of training: A decade of progress”. Annual Review of Psychology, n. 52, pp. 471-499.
- Salas, E. et al. (2009) “Performance Measurement in Simulation-Based Training: A Review and Best Practices”, In: Simulation Gaming, v. 40, n. 3, pp. 328-376.
- Salas, E.; Rosen, M.A. (2007) “Best Practices for Performance Measurement in Military Simulation-based Training: observations from the field (Report)”. Department of Psychology, Institute for Simulation and Training, University of Central Florida, pp. 1-29.
- São Paulo (Estado). Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. (2003) “Diretriz N° CCB-001/213/03. PPI- Plano Particular de Intervenção”. São Paulo.