

GRAAL - Gamificação em Linhas de Montagem Manuais com Realidade Aumentada para a Indústria 5.0

GRAAL - Gamification in Manual Assembly Lines with Augmented Reality for Industry 5.0

Salvador Sergi Agati¹, Marcelo da Silva Hounsell¹,

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Caixa Postal 89219-710 – Joinville – SC – Brazil

salvadoragati@gmail.com.br, marcelo.hounsell@udesc.br

Abstract. This thesis proposes and validates the GRAAL model, which integrates Augmented Reality (AR) and gamification to support operators in manual assembly lines within the context of Industry 4.0. The goal is to increase engagement and reduce human error through interactive instructions and motivational stimuli. The developed system was evaluated by experts, demonstrating potential gains in productivity and usability. The research is innovative in combining emerging technology with human factors in industrial environments, with potential for practical application, replicability, and a positive impact on occupational well-being and production efficiency, approaching the concepts of Industry 5.0.

Keywords Gamification, Augmented Reality, Production System, Industry 4.0, Manual Assembly Lines.

Resumo. Esta tese propõe e valida o modelo GRAAL, que integra Realidade Aumentada (RA) e gamificação para apoiar operadores em linhas de montagem manuais na Indústria 4.0. O objetivo é aumentar o engajamento e reduzir falhas humanas por meio de instruções interativas e estímulos motivacionais. O sistema desenvolvido foi avaliado por especialistas, demonstrando potenciais ganhos em produtividade e usabilidade. A pesquisa é inovadora ao unir tecnologia emergente com fatores humanos em ambientes industriais, com potencial de aplicação prática, replicabilidade e impacto positivo no bem-estar ocupacional e na eficiência produtiva, aproximando-se dos conceitos da Indústria 5.0.

Palavras-Chave Gamificação, Realidade Aumentada, Sistemas de Produção, Indústria 4.0, Linhas de Montagem Manuais

1. Introdução

Uma das vantagens das linhas de montagem manual é a possibilidade da produção de itens sob medida. No entanto, paradoxalmente, essa tendência de mercado de se personalizar produtos reduz a possibilidade de automação completa, por se tornar financeiramente inviável, colocando novamente o operador na linha de montagem. Uma possível alternativa para se reduzir os erros humanos em linhas de montagem é o uso da Realidade Aumentada (RA) como elemento auxiliar para conduzir passo a passo o operador no processo de montagem [Värno et al. 2019],[Bauer et al. 2020].

O uso da gamificação mostrou-se eficaz para a manutenção do engajamento e da motivação na execução de tarefas distintas como calibração de dispositivos [Flatla et al. 2011] e educação [Hamari et al. 2014], entre outras. No entanto, poucos estudos foram realizados para se avaliar o resultado da utilização da gamificação na indústria, mormente associada ao uso da RA em linhas de montagem manuais [Warmelink et al. 2018].

Escolheu-se essa área de aplicação por se constatar, após um mapeamento sistemático da literatura (MSL) [Bauer et al. 2020], haver poucos estudos para esse tipo de aplicação e pelo fato de que, nesses sistemas, é alta a possibilidade de falta da inserção de algum componente ou inserção incorreta de componentes (com polaridade invertida, por exemplo), provocando retrabalhos e até a perda total da Placa de Circuito Impresso (PCI), inutilizando componentes e trabalho anterior, com consequente aumento dos custos de produção. Assim, com base no exposto, a pergunta de pesquisa a ser respondida foi: *como a Gamificação pode ser articulada com um sistema de RA para auxílio à montagem manual de PCIs com objetivo de produtividade e centrada no operador?*

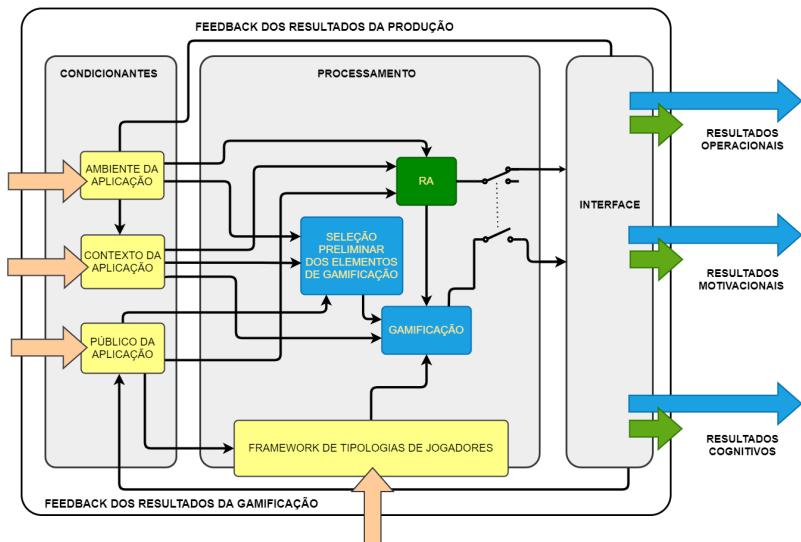
2. Metodologia

Foi feito um mapeamento sistemático terciário da literatura [Petersen et al. 2008] para se descobrir como foram projetados os sistemas de RA para a indústria. Esse trabalho resultou na geração de diretrizes de projeto de RA para essa área [Agati et al. 2020]. Em seguida, fez-se um estudo sobre o uso da gamificação na produção industrial [Korn et al. 2015] [Warmelink et al. 2018] [Grund et al. 2020] [Lithoxoidou et al. 2020].

Com esse estudo observou-se uma ausência significativa da junção de abordagens envolvendo simultaneamente RA e gamificação, promovendo uma visão integrativa desses recursos. Com base nessa percepção e em visitas a uma fabricante multinacional de equipamentos que tinha uma linha de montagem manual de PCIs, criou-se a proposta do GRAAL - *Gamified Responsible Augmented Assembly Line*.

3. GRAAL - Um Modelo de Gamificação para uma Linha de Montagem Manual

O modelo proposto (Figura 1) é constituído de 3 componentes: condicionantes, processamento e resultados. As condicionantes são os fatores que definem o escopo da utilização do modelo: o ambiente da aplicação, o contexto da aplicação e o público da aplicação. No componente de processamento ocorre a determinação dos elementos de gamificação, com uma filtragem inicial desses elementos em função das condicionantes. Os elementos de gamificação restantes são usados na gamificação do processo, considerando os aspectos demográficos e frameworks de avaliação de jogadores. Eles são inseridos na saída do módulo de RA para compor a interface visual final do sistema. Os resultados computados da produção e da gamificação são usados para realimentar o sistema e fornecer a característica dinâmica do uso de elementos de gamificação. O modelo é o de uma aplicação epífita [Monterrat et al. 2014], ou seja, pode-se desligar a gamificação a qualquer momento, que o sistema de RA continua a funcionar normalmente.

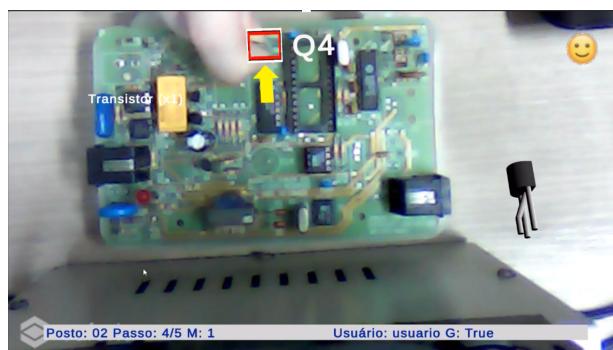
**Figura 1. Modelo Conceitual do GRAAL**

4. Prova de Conceito

Implementou-se o modelo conceitual de gamificação como uma aplicação agregada a um sistema de RA projetado para uma linha de montagem manual de PCIs. Esse sistema de RA foi projetado com base no estudo de uma linha de montagem manual real de uma indústria multinacional do setor elétrico.

O projeto de gamificação usou a metodologia 5W2H+M [Conejo 2019] para a definição dos elementos de gamificação iniciais. Definiu-se e se obteve um Vetor da Gamificação de *Setup* ($V_g setup$) considerando-se a tipologia de jogador definida por Bartle [Bartle 1996] e o cruzamento de tabelas obtidas do trabalho de Klock [Klock et al. 2020].

A interface de visualização do GRAAL é a apresentada na Figura 2. Durante as etapas de montagem, um emoji situado na posição superior direita da tela, conforme mostrado na Figura 2, representa o desempenho cumulativo da operadora. Esse é o único elemento de gamificação e de feedback apresentado na tela durante a montagem, para não desviar a atenção da operadora da tarefa que está sendo executada.

**Figura 2. Durante a montagem**

Após as M montagens, o desempenho cumulativo da operadora é mostrado na tela. A Figura 3 ilustra esse momento após a montagem de 3 PCIs.



Figura 3. Após M montagens

Neste momento, outros elementos de gamificação são apresentados. As medalhas são usadas para desempenhos pessoais semanais, taxas de regularidade e taxas de acerto (mensal, trimestral, semestral e anual). Os elementos de gamificação foram associados a uma narrativa histórica e exibidos no monitor da operadora. Para evitar excesso de informação e aumento da carga cognitiva durante a operação de montagem das placas, mostramos a narrativa da gamificação ao final de cada turno de montagem.

5. Avaliação do GRAAL

O projeto de avaliação do GRAAL foi submetido ao Conselho de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UDESC e aprovado com o número CAAE 51463621.7.0000.0118. Foram enviados e-mails para especialistas de todo o país. O questionário, online, teve a seguinte estrutura: termo de Consentimento Livre e Esclarecido; questões demográficas; vídeo de apresentação do GRAAL, com 5 min de duração; questões de aceitação de tecnologia, usando o questionário TAM3 (*Technology Acceptance Model 3*) [Venkatesh e Bala 2008]; questões de aceitação da Gamificação, usando o questionário GAMEX (*Gameful Experience* [Eppmann et al. 2018] e; questões abertas sobre o sistema. Uma cópia do questionário encontra-se no Apêndice da Tese. O vídeo utilizado para a apresentação do GRAAL pode ser encontrado em:

GRAAL - Gamified Responsible Augmented Assembly Lines

6. Resultados

Na avaliação do TAM 3, os respondentes concordaram que o GRAAL é útil para o trabalho e pode melhorar o desempenho dos operadores, sendo fácil de usar, mas deve melhorar sua flexibilidade para permitir mais liberdade enquanto o operador utiliza o sistema. Não foram encontrados problemas relacionados à eficácia do sistema e foi percebido pelos respondentes que os operadores podem usar o GRAAL sem uma experiência de uso anterior com um sistema semelhante. Os respondentes consideraram o sistema relevante para o operador, mas não o mais importante recurso que um operador pode ter na montagem de uma PCI.

Para o GAMEX, os respondentes emitiram a maior pontuação de concordância para o construto Prazer do questionário, consonante com um dos principais objetivos da gamificação, que é tornar uma atividade mais prazerosa. Os respondentes concluíram que o operador pode estar estimulado, mas não ao mesmo tempo, nervoso ou frenético. Os

respondentes concordaram que os operadores podem se sentir confiantes ao realizar suas tarefas enquanto usam o GRAAL, mas não ao ponto de se sentirem influentes.

7. Contribuições da Pesquisa

As seguintes contribuições foram observadas durante o projeto do GRAAL.

1. Foram elencadas diretrizes de projeto de RA que se mostraram úteis na validação de sistemas de RA para a indústria;
2. Adotando as diretrizes de projeto de RA, foi criado um modelo conceitual para articular a coexistência de um sistema de RA com gamificação, para a indústria. O GRAAL humaniza a proposta de uma gamificação do lado da operadora, quando considera a *persona*, individualiza elementos da narrativa (avatar, brindes), considera carga cognitiva e cria na interface mensagens voltadas ao seu bem-estar e saúde. Inclui-se ainda, o uso de uma gamificação não obrigatória com a opção de ser desligada a qualquer momento pela própria operadora, respeitando seu ritmo e momento cognitivo. O GRAAL, por outro lado, contempla os interesses da indústria na busca da otimização do desempenho nas tarefas executadas de forma transparente, quando mostra para a operadora seu ritmo da montagem e taxa de acertos de forma lúdica;
3. A metodologia de seleção de elementos de jogos no processo de gamificação é uma contribuição deste trabalho pois, de forma única, considera as indicações da literatura, as características dos usuários e as condicionantes em que esse processo ocorrerá;
4. Durante a aplicação dos questionários de avaliação, houve uma compreensão de como os instrumentos podem ser utilizados na indústria, principalmente o GAMEX, que teve seus construtos reinterpretados face às condicionantes Ambiente da Aplicação e Contexto da Aplicação;
5. As decisões do projeto de gamificação de se utilizar da estratégia de apresentar a gamificação de forma gradativa, tanto em forma como em contexto (*scaffolding*), não foram encontradas em outras gamificações estudadas para a indústria.
6. Por fim, o GRAAL se mostrou uma solução capaz de articular a gamificação e a RA em ambiente de forma eficiente (conforme o TAM 3) e motivar a operadora (conforme o GAMEX).

8. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq-Brasil) pela bolsa de produtividade DT2, processo 306613/2022-0 e, à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC-Brasil) pelo financiamento parcial ao laboratório LARVA, T.O. No.: 2023TR284.

Referências

- Agati, S. S., Bauer, R. D., Hounsell, M. d. S., e Paterno, A. S. (2020). Augmented reality for manual assembly in industry 4.0: Gathering guidelines. In *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pages 179–188. IEEE.

- Bartle, R. (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit muds. *Journal of MUD research*, 1(1):19.
- Bauer, R. D., Agati, S. S., da Silva Hounsell, M., e da Silva, A. T. (2020). Manual pcb assembly using augmented reality towards total quality. In *2020 22nd Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pages 189–198. IEEE.
- Conejo, G. G. (2019). *Detalhando a Motivação em um processo de Gamificação*. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade do Estado de Santa Catarina.
- Eppmann, R., Bekk, M., e Klein, K. (2018). Gameful experience in gamification: Construction and validation of a gameful experience scale [gamex]. *Journal of interactive marketing*, 43(1):98–115.
- Flatla, D. R., Gutwin, C., Nacke, L. E., Bateman, S., e Mandryk, R. L. (2011). Calibration games: making calibration tasks enjoyable by adding motivating game elements. In *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 403–412.
- Grund, J., Umfahrer, M., Buchweitz, L., Gay, J., Theil, A., e Korn, O. (2020). A gamified and adaptive learning system for neurodivergent workers in electronic assembling tasks. In *Proceedings of the Conference on Mensch und Computer*, pages 491–494.
- Hamari, J., Koivisto, J., e Sarsa, H. (2014). Does gamification work?—a literature review of empirical studies on gamification. In *2014 47th Hawaii international conference on system sciences*, pages 3025–3034. Ieee.
- Klock, A. C. T., Gasparini, I., Pimenta, M. S., e Hamari, J. (2020). Tailored gamification: A review of literature. *International Journal of Human-Computer Studies*, 144:102495.
- Korn, O., Funk, M., e Schmidt, A. (2015). Towards a gamification of industrial production: a comparative study in sheltered work environments. In *Proceedings of the 7th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, pages 84–93.
- Lithoxoidou, E., Doumpoulakis, S., Tsakiris, A., Ziogou, C., Krnidis, S., Paliokas, I., Ioannidis, D., Votis, K., Voutetakis, S., Elmasllari, E., et al. (2020). A novel social gamified collaboration platform enriched with shop-floor data and feedback for the improvement of the productivity, safety and engagement in factories. *Computers & Industrial Engineering*, 139:105691.
- Monterrat, B., Lavoué, É., e George, S. (2014). Motivation for learning: Adaptive gamification for web-based learning environments. In *6th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2014)*, pages 117–125.
- Petersen, K., Feldt, R., Mujtaba, S., e Mattsson, M. (2008). Systematic mapping studies in software engineering. *EASE'08 Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, pages 68–77.
- Värno, K., Mahmood, K., Otto, T., e Kuts, V. (2019). Development of a smart workstation by using ar technology. *Annals of DAAAM & Proceedings*, 30.
- Venkatesh, V. e Bala, H. (2008). Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision sciences*, 39(2):273–315.

Warmelink, H., Koivisto, J., Mayer, I., Hamari, J., e Vesa, M. (2018). Gamification of the work floor: A literature review of gamifying production and logistics operations. In *Proceedings of the 51st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. Hawaii International Conference on System Sciences.