

Realidade Aumentada na Criação de Tutoriais para a Indústria 4.0

Rodrigo José de Paiva* Rone Ilídio da Silva**

*Campus Alto Paraopeba, Universidade Federal de São João del-Rei,
Ouro Branco-MG, (e-mails: *rodrigo.josdepaiva@gmail.com,
**rone@ufsj.edu.br).*

Abstract: Augmented Reality (AR) is the process of including 3D virtual objects into the images captured by cameras of devices like smartphones, tablets or ARglasses. The literature presents several works that describe applications which use AR as a friendly interface to provide information about how to assembly or maintenance equipment and products in industries. Basically, these applications present 3D objects to show the sequence of steps needed to conclude a task. However, these mentioned works demand the upgrade of application to incorporate changes (such as error corrections and new 3D objects). The present work proposes a new system to facilitate changes into virtual objects in scenes of Augmented Reality used in tutorial for Industry 4.0. It avoids upgrades and makes easier the process of creating new tutorials. Experiments show that the system include a small delay to download 3D object, however it do not compromise significantly the application performance.

Resumo: Realidade Aumentada (AR - Augmented Reality) consiste no processo de inserir objetos 3D virtuais à imagem capturada por dispositivos como smartphones, tablets ou óculos de realidade aumentada (chamados de ARglasses). A literatura apresenta vários trabalhos que descrevem aplicações que fazem a utilização de Realidade Aumentada como interface amigável para fornecer informações de como executar determinados processos de montagem e manutenção de produtos e equipamentos na indústria. Basicamente, essas aplicações exibem objetos em três dimensões que indicam a sequência de tarefas a serem realizadas para conclusão do processo. Entretanto, tais trabalhos exigem a reinstalação dos aplicativos nesses dispositivos para que alterações (como correção de erros e inclusão de novas tarefas) possam ser incorporadas. O presente trabalho propõe um sistema que facilita alterações nos objetos virtuais exibidos em cenas de Realidade Aumentada utilizadas em tutoriais para a Indústria 4.0. Ele evita atualizações constantes no aplicativo do dispositivo com Realidade Aumentada e facilita a criação de novos tutoriais. Experimentos mostram que um pequeno atraso na exibição dos objetos 3D, mas que não compromete significativamente o desempenho do sistema.

Keywords: Augmented Reality; Industry 4.0; Manufacturing; Assembling; Update; Tutorials

Palavras-chaves: Realidade Aumentada; Indústria 4.0; Manutenção; Montagem; Atualização; Tutoriais

1. INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, é um processo global que incorpora várias novas tecnologias com o intuito de otimizar a utilização de recursos e aumentar a produtividade. Dentre essas tecnologias se tem a Realidade Aumentada (AR - *Augmented Reality*), que é utilizada como forma amigável para disseminação de conhecimento. AR consiste de tecnologias que inserem objetos virtuais em imagens capturadas pelas câmeras de dispositivos como smartphones, tablets e ARGlasses (óculos de realidade aumentada) (van Lopik et al. (2020)). De acordo com Chatzopoulos et al. (2017), vários ramos da economia utilizam AR, como turismo, navegação, entretenimento, publicidade e educação. Entretanto, o presente trabalho foca na utilização de AR pela indústria. Dentre as várias formas de utilização desta tecnologia, três aparecem com destaque em diversos traba-

lhos: montagem de produtos e equipamentos, manutenção de equipamentos e exibição de alertas de perigo. Fraga-Lamas et al. (2018); Liu and Wang (2017); Paelke (2015); Pierdicca et al. (2017) descrevem aplicações para exibir informações que descrevem as etapas de processos de montagem. Tais informações podem ser mensagens de texto, como mostrado em Gattullo et al. (2019), ou objetos 3D que exibem as peças e/ou ferramentas necessárias para o processo de montagem, como em Masood and Egger (2020). Gattullo et al. (2019); Masoni et al. (2017); Eschen et al. (2018); Mourtzis et al. (2018); Chekryzhov et al. (2018); van Lopik et al. (2020) apresentam aplicações que exibem informações sobre a realização de processos de manutenção. Eles indicam ao usuário a sequência de procedimentos a seguirem executados com a utilização de objetos 3D e mensagens de texto. Lotsaris et al. (2021); Mourtzis et al. (2018) apresentam sistemas que exibem regiões que trazem perigo para a presença humana devido

à movimentação de robôs que interagem com o operador ou de outras máquinas na região.

Todos os aplicativos sobre montagem e manutenção, descritos pelos trabalhos aqui mencionados, precisam ser atualizados em cada um dos dispositivos onde foram instalados para refletirem alterações. Tais alterações podem ser correções de erros, atualização de versões e adequações sugeridas pelos usuários. Os aplicativos que exibem regiões de perigo para o operador também demandam atualização caso ocorra o acréscimo ou remoção de figuras delimitando novas regiões. Além disso, cada aplicativo é criado para exibir informações sobre um conjunto específico de operações. Dessa forma, quando existem muitas operações o aplicativo pode ficar muito grande (em relação ao espaço de memória que utilizam) ou o desenvolvedor pode optar por vários aplicativos. Todas essas possibilidades sobrecarregam as memórias dos dispositivos móveis e dificultam atualizações.

Este trabalho propõe a criação de um sistema que utiliza Realidade Aumentada para auxiliar na manutenção e montagem de máquinas industriais. O sistema proposto busca remotamente todos os objetos 3D que serão incorporados à cena. Essa característica faz com que a correção de informações, a atualização e a adequação dos objetos 3D ocorra sem a necessidade de atualização da aplicação de cada um dos dispositivos onde a aplicação é executada. Com o sistema proposto, basta alterar ou acrescentar em uma pasta remota os novos arquivos que definem os objetos 3D a serem incluídos. Além disso, o número de possíveis cenas (conjunto de objetos sobre um determinado tema) se torna ilimitado, independente da quantidade de memória disponível no dispositivo.

Experimentos mostram que a busca por objetos armazenados remotamente (fora do dispositivo que executa a aplicação) insere um pequeno atraso na exibição da cena e que tal atraso pode variar de acordo com o local de armazenamento. O download de objetos que se encontram na mesma rede do dispositivo de AR é mais rápido do que de objetos que se encontram em pastas na nuvem, como esperado. Entretanto, o sistema facilita o desenvolvimento de tutoriais para a indústria, pois o processo de correção de erro e acréscimo de novos objetos e cenas se torna mais simples. A incorporação de alterações se dá com a troca ou acréscimos de arquivos em pastas remotas, sem a necessidade de atualizações de softwares nos dispositivos.

Este texto é organizado da seguinte forma, a próxima seção descreve um conjunto de trabalhos que utilizam AR na indústria para auxiliar o aprendizado de processos de montagem e manutenção. Na Seção III, o sistema proposto é descrito com detalhes. A Seção IV apresenta um caso de uso, no qual foi criado um tutorial de montagem. Nessa seção são discutidos os impactos práticos da adoção do sistema proposto. Na Seção V são apresentados resultados de experimentos para análise de desempenho da aplicação. Finalmente, a Seção VI traz as conclusões e os trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

A literatura apresenta diversos artigos que propõem aplicações IAR (*Industrial augmented reality (IAR)*), ou seja,

aplicações que utilizam Realidade Aumentada como interface amigável para divulgação de conhecimento sobre operações executadas na indústria. Dentre elas, duas ganham destaque: montagem e manutenção de equipamentos. A principal estratégia utilizada para auxiliar o aprendizado sobre como montar determinado equipamento é a exibição da sequência de montagem por meio de objetos virtuais que definem cada etapa dessa sequência. ARGlasses são os dispositivos mais utilizados, pois podem passar a informação necessária ao mesmo tempo que o operador mantém suas mãos livres para o trabalho, como ocorre na aplicação proposta por Pierdicca et al. (2017). Em Fraga-Lamas et al. (2018) é descrito um sistema com Realidade Aumentada e Internet das Coisas para auxiliar na construção naval. Diversas partes do navio são equipadas com sensores, tais como barômetros, sensores de luminosidade, magnetômetros, entre outros, que coletam dados e os armazenam na nuvem. A realidade aumentada é utilizada como interface amigável para indicar locais onde determinado processo de montagem deverá ser realizado e exibir anomalias detectadas a partir de análises dos dados salvos. Liu and Wang (2017) propõem um sistema com realidade aumentada onde o operador e um robô interagem com a finalidade de realizar a montagem da máquina. Masood and Egger (2020) descrevem um aplicativo que ajuda no processo de montagem de máquinas, o qual reconhece comandos a partir de gestos realizados pelo operador. Paelke (2015) propõe um aplicativo que utiliza realidade aumentada para exibir a localização de peças e equipamentos necessários no processo de montagem. Tal aplicativo consegue encontrar as peças por meio de sensores instalados em cada item.

Os trabalhos encontrados na literatura que descrevem aplicações que utilizam Realidade Aumentada para auxiliar operações de manutenção utilizam uma estratégia semelhante àquela utilizada para montagem. Para assessorar essas operações, cada passo da manutenção é informado em sequência por setas, caixas de texto flutuantes e objetos 3D representando o equipamento com avaria, ou partes dele. Zhukovskiy and Koteleva (2019) descrevem uma dessas aplicações, que utiliza AR para unificar em uma única aplicação tutoriais de manutenção de diversos equipamentos elétricos. van Lopik et al. (2020) propõem ferramentas e uma metodologia para criação de aplicações que utilizam realidade aumentada como interface para fornecer informações sobre manutenção. A metodologia proposta visa facilitar a criação desse tipo de aplicações por pessoas sem o conhecimento sobre as ferramentas utilizadas para modelagem 3D. Gattullo et al. (2019) também propõem uma aplicação e uma metodologia mas para criar aplicativos que funcionam como manuais de equipamentos industriais. A metodologia proposta consiste em ler e analisar as instruções contidas em manuais tradicionais (como arquivos em PDF), repartir cada instrução, categorizá-las e organizar as informações exibidas. Eschen et al. (2018) exploram as possibilidades de uso da realidade aumentada e virtual para fazer a manutenção em aviões. Os sistemas descritos neste trabalho, além de auxiliar a manutenção, exibem possíveis rachaduras na parte exterior do avião e orientam sobre o uso do painel de controle do avião. Masoni et al. (2017) propõem uma estratégia diferente. Nesse trabalho, o operador ao ter alguma dúvida sobre uma tarefa, ele a encaminha para um especialista, juntamente com uma

foto da máquina que está em processo de manutenção. O especialista envia um aplicativo com realidade aumentada com figuras e comentários que explicam os passos a serem seguidos para se fazer a manutenção.

Além de montagem e manutenção de equipamentos, a literatura apresenta trabalhos sobre Realidade Aumentada para a indústria com outras operações e estratégias que merecem destaque. Como exemplo se tem o trabalho apresentado por Mourtzis et al. (2018) exhibe regiões de perigo para o operador. Regiões de perigo também são exibidas pelo sistema descrito por Lotsaris et al. (2021). Tal sistema reconhece o posicionamento de braços robóticos e informa ao usuário quais são os locais seguros para trabalhar e os que oferecem risco. Chekryzhov et al. (2018) também apresenta um aplicativo para auxiliar montagem e manutenção. Porém, esse trabalho merece destaque porque o aplicativo proposto lê um QR Code para obter dados de como buscar informações textuais em um banco de dados remoto. Tais informações são então exibidas para o usuário. Entretanto, todas as imagens de QR Codes também são utilizadas como imagem alvo da aplicação e por isso precisam estar presentes em tempo de compilação do aplicativo apresentado. Kido et al. (2020) utiliza Realidade Aumentada para esconder objetos que não têm interesse para o usuário, e destacar aqueles que têm. Rau et al. (2021) aborda como criar e usar objetos tangíveis em realidade aumentada. Um objeto tangível é um objeto localizado no mundo real que pode ser manipulado pelo usuário para fornecer comandos ao aplicativo, por meio da mudança de posição ou de rotação do objeto.

Todos os aplicativos descritos nos trabalhos aqui mencionados possuem como característica em comum que é a necessidade de atualização do software em cada dispositivo onde foram instalados para que alterações possam estar disponíveis para o usuário. Tal característica dificulta a correção de erros e a incorporação de novas funcionalidades. Além disso, uma indústria pode ter muitos processos de montagem e manutenção, o que leva à criação de vários aplicativos ou de aplicativos muito grandes. Este trabalho propõe um aplicativo que busca remotamente todos os objetos a serem exibidos. Essa estratégia facilita atualizações, pois a aplicação permanece inalterada e somente os arquivos remotos precisam ser substituídos. Além disso, não é necessário mudar a aplicação para inserir novas operações.

3. O SISTEMA PROPOSTO

A principal característica do sistema aqui proposto é o armazenamento remoto de todos os objetos a serem inseridos na imagem filmada pelo dispositivo onde será criada a cena com Realidade Aumentada, como smartphones ou ARGlasses. Dessa forma, alterações em tais objetos não levam a alterações no aplicativo que exhibe a cena o que, conseqüentemente, evita atualizações do software. O sistema proposto é composto por aplicativo, imagem alvo, imagem QR Code, Descritores e arquivos de objetos 3D, de acordo com que é apresentado pela Figura 1.

O aplicativo é o software a ser instalado nos dispositivos. A imagem alvo é comum em praticamente toda aplicação de Realidade Aumentada. Ela é utilizada como referência para posicionamento dos objetos 3D na cena. O QR Code

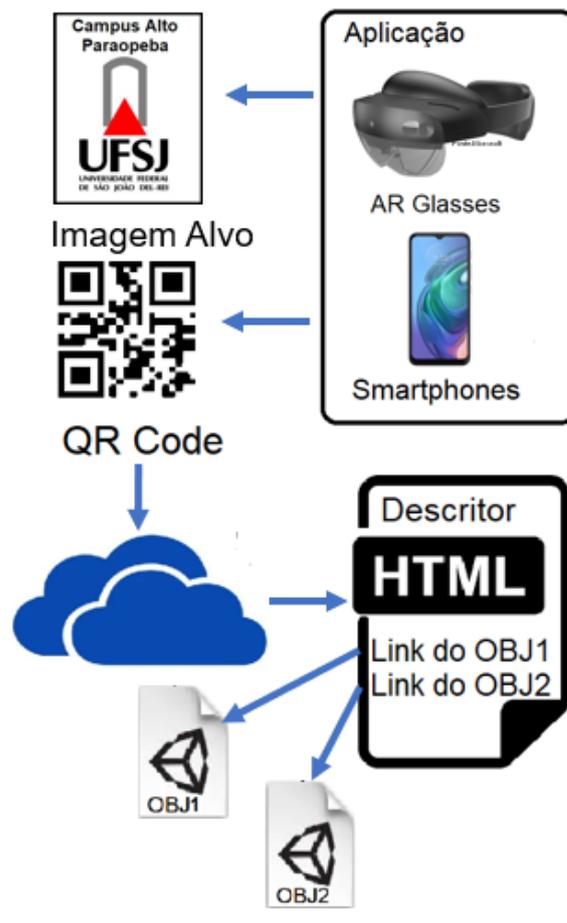


Figura 1. Componentes do sistema proposto.

é uma imagem que armazena a informação do endereço do Descritor. O Descritor é um arquivo HTML que contém uma lista com os endereços de todos os arquivos que descrevem os objetos 3D que serão exibidos em um tutorial de montagem ou manutenção. Após ler o QR Code, o aplicativo acessa o Descritor, usa suas informações para baixar todos os arquivos de objetos 3D e, assim que a imagem alvo é rastreada pela câmera, os objetos 3D são posicionados na cena.

A leitura do QR Code possibilita a obtenção do endereço do arquivo Descritor e, conseqüentemente, de todos os objetos 3D a serem instanciados na cena de AR. Dessa forma, o aplicativo utiliza apenas uma imagem alvo (a qual é indicada antes da compilação) e cada QR Code define um tutorial diferente, com objetos 3D que podem ser distintos. A correção de erros se torna mais simples, pois basta substituir o arquivo que representa o objeto com erros. O acréscimo de um novo objeto também é facilitado, uma vez que basta colocar um novo arquivo na pasta remota e acrescentar ao Descritor o endereço desse arquivo. A criação de novos tutoriais também é facilitada, criando-se apenas um novo Descritor, um novo QR Code com o endereço desse descritor e novos objetos 3D. Em todas essas situações a aplicação executada pelo dispositivo de AR é a mesma, sendo atualizações desnecessárias.

O comportamento do aplicativo proposto pode ser descrito pelo diagrama de estados apresentado na Figura 2. No

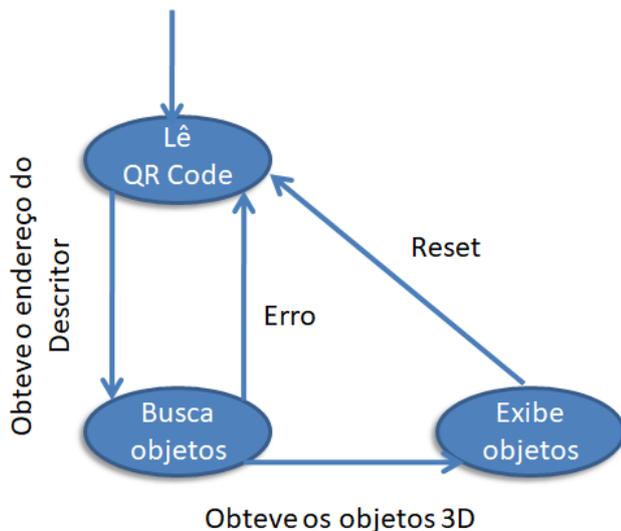


Figura 2. Diagrama de estados do aplicativo.

primeiro estado, denominado “Lê QR Code”, o aplicativo espera até que a câmera do dispositivo AR leia o QR Code e obtenha o endereço do arquivo Descritor. Com esse endereço, o aplicativo vai para o estado “Busca objetos” no qual ele lê o conteúdo do Descritor e faz o download de todos os objetos 3D descritos nele. Uma vez recebidos esses objetos, o aplicativo vai para o estado “Exibe objetos”, onde a cena de Realidade Aumentada é exibida para o usuário. Nesse estado, se o usuário clicar no botão “Reset”, o aplicativo volta para o estado inicial “Lê QR Code”. Em caso de erro de download do Descritor ou de qualquer um dos arquivos que representam os objetos 3D, o aplicativo também volta para o estado inicial.

3.1 Desenvolvimento de Novos Tutoriais

Como mencionado anteriormente, a inclusão de um novo tutorial de montagem e manutenção pode ser realizada com a criação de novos objetos, de um novo QR Code e de um novo Descritor. O processo de criação desses novos objetos segue somente duas regras: a utilização da mesma imagem alvo utilizada pelo sistema aqui proposto e criação de objetos nas ferramentas Unity 3D (Haas (2014)) e Blender (Community (2021)). Um novo tutorial deve primeiramente ser criado em um projeto distinto, no qual todos os objetos são posicionados em relação à imagem alvo padrão. Em todas as aplicações que utilizam AR, as definições sobre esses objetos são armazenadas em arquivos separados, contendo cada arquivo dados de um ou vários objetos. Tais arquivos devem ser armazenados em uma pasta cujo dispositivo AR terá acesso. Deve-se também criar um Descritor contendo os endereços desses arquivos e um QR Code com o endereço do Descritor. A criação do QR Code pode ser realizada em qualquer um dos diversos sites gratuitos que oferecem esse serviço na Internet. Ao ler esse novo QR Code, o aplicativo aqui proposto lê e exibe todos os novos objetos criados. Dessa forma, vários tutoriais podem ser criados e o aplicativo não precisa ser atualizado nos dispositivos AR para exibí-los.

A utilização de QR Codes para obter os endereços de download dos objetos 3D e a utilização de uma única imagem alvo também facilitaram a criação de novos tu-

toriais, pois somente a imagem alvo precisa ser definida no momento da compilação do aplicativo proposto. Os QR Codes podem ser criados e utilizados para exibir novos objetos a qualquer momento. Muitos dos aplicativos descritos nos trabalhos relacionado possuem mais de uma cena de Realidade Aumentada, cada uma associada a uma imagem alvo. Essa característica limita o número de cenas, pois as imagens alvo precisam ser informadas em tempo de compilação e a partir daí são imutáveis (até uma nova compilação).

3.2 Correção de Erros

A principal vantagem do sistema aqui proposto é a facilidade de inclusão de novas animações e a correção daquelas já criadas. Caso seja detectado um erro em um objeto 3D presente em um tutorial, deve-se detectar qual arquivo possui o erro, alterá-lo e substituir o arquivo errado na pasta remota pelo novo com a correção. Essa característica do sistema aqui proposto também facilita o processo de desenvolvimento de tutoriais, uma vez que todo o processo de criação pode ser realizado em etapas com a interação direta do especialista na área que se está criando o tutorial. As correções e inclusões de novos objetos podem ser imediatamente acessadas pelo especialista que pode verificar e retornar com agilidade.

4. CASO DE USO

Com o intuito de validar o sistema proposto, foi desenvolvido um tutorial de montagem de um HD em uma *case*. A Figura 3 exibe o HD e o adaptador. A segunda imagem mostra a *case* (acima) e como encaixar o adaptador no HD. A terceira imagem mostra como parafusar o HD na *case*. Em todas as etapas apresentadas, um texto descritivo é exibido no canto superior esquerdo e dois botões (para sair da aplicação e para resetar) são exibidos no canto inferior direito. Para este exemplo, cada um dos passos é obtido pela leitura de um QR Code, porém todos os três passos poderiam ter sido colocados com a leitura de um único QR Code. A escolha de leitura de vários QR Code se deu para evidenciar a facilidade de alteração dos objetos que estão sendo exibidos. Durante todo o processo, o aplicativo do dispositivo de Realidade Aumentada foi instalado somente uma vez. Os objetos foram criados e gradativamente salvos na pasta remota indicada pelos QR Codes.

5. ANÁLISE DE DESEMPENHO

A principal característica do sistema proposto é o download dos objetos 3D a partir de uma pasta remota. Apesar das vantagens já mencionadas, essa característica acrescenta atraso na exibição dos objetos 3D na cena de Realidade Aumentada, se comparados aos aplicativos descritos nos trabalhos relacionados. Nesses aplicativos os objetos já estão salvos no dispositivo manipulado pelo usuário. Para analisar tal atraso, foram realizados experimentos nos quais se mediu o tempo necessário para download dos arquivos que escrevem os objetos 3D.

O ambiente onde tais experimentos foram realizados tinha as características apresentadas a seguir. O dispositivo de Realidade Aumentada utilizado foi um smartphone

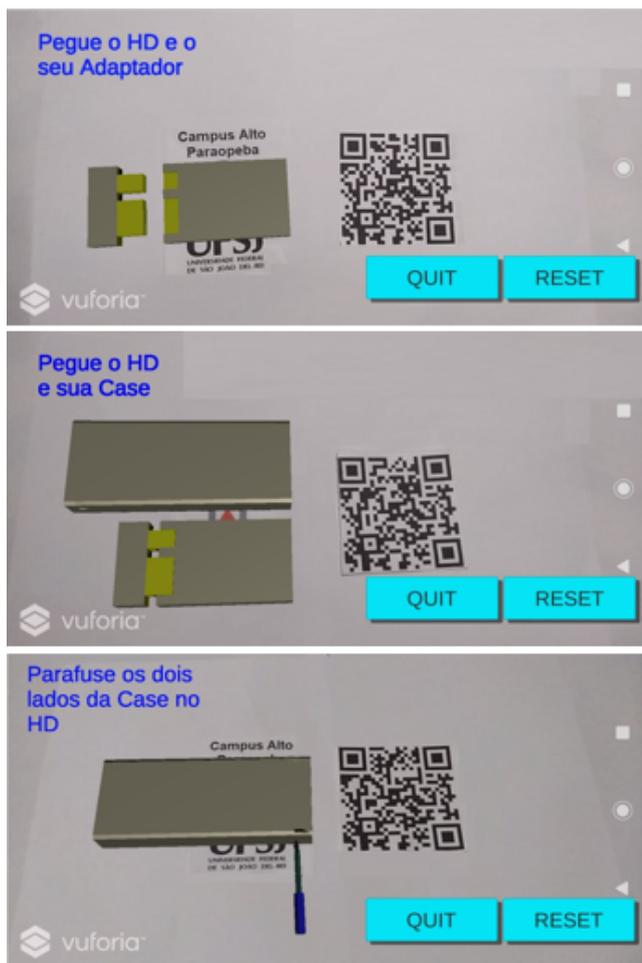


Figura 3. Caso de uso: tutorial para montagem de um HD em um case.

Samsung J7, o qual estava conectado a uma rede Wifi 2.4 GHz, com o protocolo 802.11n. Nessa rede também estava um computador PC com processador Intel Core i7 8ª Geração, com 8 GB de memória RAM. Esse computador foi utilizado para hospedar a pasta remota quando o download dos objetos 3D ocorria a partir da mesma rede. A Internet contratada fornecia velocidade de até 220 Mb/s, a qual foi utilizada para baixar os objetos 3D quando a pasta remota estava na nuvem.

Foram analisados dois cenários em relação ao local da pasta remota contendo os objetos 3D: na mesma rede do smartphone e a partir de uma pasta em um computador externo (aqui descrito como download a partir da nuvem). Nesses experimentos, também variou-se a quantidade de dados baixados de duas formas: aumentou-se o tamanho dos arquivos baixados (2.5 MB, 5.0 MB, 7.5 MB e 10 MB) e aumentou-se o número de arquivos baixados (25, 50, 75 e 100, todos de 100 KB). Dessa forma, o volume de dados baixados foi o mesmo, porém no primeiro cenário os dados foram concentrados em um único arquivo e no segundo os dados foram distribuídos em vários arquivos.

Os gráficos de barra a seguir exibem no eixo das ordenadas (eixo Y) os tempos em segundos obtidos para download e o crescimento do volume de dados no eixo das abscissas (eixo X). Além do tempo, cada barra também exibe o desvio

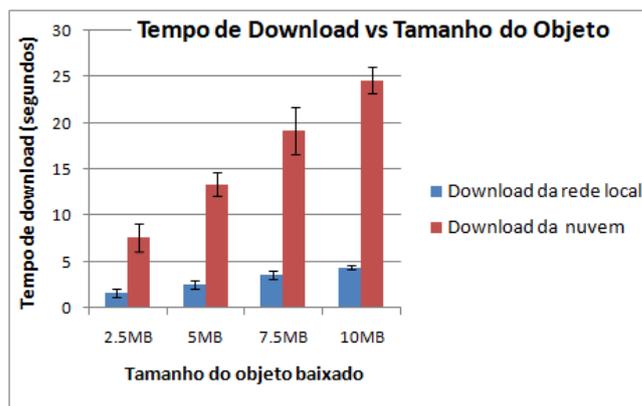


Figura 4. Tempo de download com o aumento do tamanho dos objetos 3D.

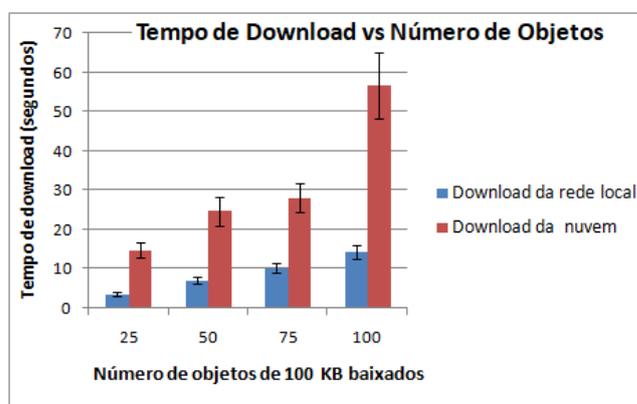


Figura 5. Tempo de download com o aumento do número de objetos 3D, cada objeto com 100KB.

padrão. Todos os experimentos foram realizados 33 vezes, o que fornece um intervalo de confiança de 95%.

O gráfico da Figura 4 exibe o resultado para a variação do tamanho do arquivo que representa o objeto 3D, para a pasta na mesma rede e para a pasta na nuvem. Verifica-se um crescimento linear do tempo de download em ambas as situações. Como esperado, o tempo de download a partir da nuvem foi maior do que a partir da rede local. O gráfico apresentado pela Figura 5 exibe o resultado da variação do número de objetos 3D. Cada um desses objetos corresponde a um arquivo de 100 KB. Esse gráfico também apresentou um comportamento linear e os downloads a partir da nuvem apresentaram maiores tempos.

Os gráficos mostram que o download a partir da rede local oferece menores tempos, o que conseqüentemente melhora o desempenho da aplicação. Cabe ressaltar que o aplicativo instalado no smartphone não precisou ser alterado para se mudar a origem do download. Mudou-se apenas o QR Code, o que mostra a flexibilidade do sistema proposto. Ao analisar ambos os gráficos em conjunto, nota-se que para a mesma quantidade de dados baixados, as aplicações com muitos objetos pequenos levam mais tempo para realizar o download do que as aplicações onde o número de objetos é menor. Verifica-se então que a concentração de objetos 3D em um único arquivo melhora o desempenho do sistema proposto.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho propõe um sistema que utiliza Realidade Aumentada para exibir de forma amigável tutoriais de manutenção e montagem de equipamentos na indústria. Os trabalhos relacionados abordam sistemas similares, porém toda alteração nas cenas exibidas por estes sistemas leva a uma atualização no aplicativo executado pelo dispositivo de Realidade Aumentada. Como o número de dispositivos pode ser grande, pequenas alterações nas cenas (como correções de erros) podem levar a diversas reinstalações.

O sistema aqui proposto facilita a alteração de objetos exibidos em cenas de Realidade Aumentada e, consequentemente, auxilia o processo de criação de novos tutoriais. Com ele, todos os objetos 3D ficam armazenados em pastas remotas. Basta, então, alterar os arquivos contidos nessas pastas para que as alterações estejam disponíveis para o usuário. Essa característica faz com que o aplicativo que roda no dispositivo AR não precise ser atualizado para receber alterações e inclusões. O endereço das pastas remotas com objetos para os tutoriais que utilizam Realidade Aumentada é feito a partir da leitura de um QR Code. Com isso, para a criação de novos tutoriais basta criar um novo QR Code com o endereço dos novos objetos 3D a serem exibidos.

O caso de uso apresentado neste trabalho mostrou a facilidade para desenvolvimento de novos tutoriais e a versatilidade da utilização do QR Code para inclusão de novos objetos. Também foram realizados experimentos para analisar o desempenho do aplicativo que exibe a cena de Realidade Aumentada. Verificou-se que o download dos objetos 3D em pastas remotas aumenta o tempo de exibição de tais objetos, como esperado. Verificou-se também que o download a partir da rede local apresenta melhor desempenho do que o download a partir da nuvem. Conclui-se que a utilização do sistema proposto aumenta o tempo necessário para exibição dos objetos inseridos na cena de Realidade Aumentada, se comparado aos trabalhos relacionados onde todos os objetos são salvos localmente. Porém, obteve-se facilidade para realizar alterações nos objetos, o que ajuda para o desenvolvimento de novos tutoriais e, principalmente, na alteração de tutoriais já criados.

Com trabalhos futuros pretende-se utilizar objetos tangíveis para obtenção de comandos do usuário, com o intuito de realizar ajustes nas formas e no posicionamento dos objetos 3D exibidos pelas cenas de Realidade Aumentada. Um objeto tangível é um objeto real que é reconhecido e rastreado pela aplicação. Por isso, sua movimentação pode ser utilizada pelo usuário para alterar a cena vista por ele.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPE) da UFSJ e a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Chatzopoulos, D., Bermejo, C., Huang, Z., and Hui, P. (2017). Mobile augmented reality survey: From where

we are to where we go. *IEEE Access*, 5, 6917–6950. doi:10.1109/ACCESS.2017.2698164. URL <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2698164>.

Chekryzhov, V., Kovalev, I., and Grigoriev, A. (2018). An approach to technological equipment performance information visualization system construction using augmented reality technology. *MATEC Web of Conferences*, 224, 02093. doi:10.1051/mateconf/201822402093.

Community, B.O. (2021). *Blender - a 3D modelling and rendering package*. Blender Foundation, Stichting Blender Foundation, Amsterdam. URL <http://www.blender.org>.

Eschen, H., Kötter, T., Rodeck, R., Harnisch, M., and Schüppstuhl, T. (2018). Augmented and virtual reality for inspection and maintenance processes in the aviation industry. *Procedia Manufacturing*, 19, 156–163. doi:https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918300222>. Proceedings of the 6th International Conference in Through-life Engineering Services, University of Bremen, 7th and 8th November 2017.

Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T.M., Blanco-Novoa, O., and Vilar-Montesinos, M.A. (2018). A review on industrial augmented reality systems for the industry 4.0 shipyard. *IEEE Access*, 6, 13358–13375. doi:10.1109/ACCESS.2018.2808326.

Gattullo, M., Scurati, G.W., Fiorentino, M., Uva, A.E., Ferrise, F., and Bordegoni, M. (2019). Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 56, 276–286. doi:https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.10.001. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584518301236>.

Haas, J.K. (2014). A history of the unity game engine.

Kido, D., Fukuda, T., and Yabuki, N. (2020). Diminished reality system with real-time object detection using deep learning for onsite landscape simulation during redevelopment. *Environmental Modelling & Software*, 131, 104759. doi:https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104759. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815220303753>.

Liu, H. and Wang, L. (2017). An ar-based worker support system for human-robot collaboration. *Procedia Manufacturing*, 11, 22–30. doi:https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.124. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917303281>. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.

Lotsaris, K., Fousekis, N., Koukas, S., Aivaliotis, S., Kousi, N., Michalos, G., and Makris, S. (2021). Augmented reality (ar) based framework for supporting human workers in flexible manufacturing. *Procedia CIRP*, 96, 301–306. doi:https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.091. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121001190>. 8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customisation (CIRPe 2020).

Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A.E., Fiorentino, M., Carrabba, E., and Di Donato, M. (2017). Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality. *Procedia Manufacturing*,

- 11, 1296–1302. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.257>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304651>. 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy.
- Masood, T. and Egger, J. (2020). Adopting augmented reality in the age of industrial digitalisation. *Computers in Industry*, 115, 103112. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.07.002>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361519301186>.
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Katagis, I., and Lagios, P. (2018). Augmented reality based visualization of cnc instructions towards industry 4.0 paradigm: a cnc bending machine case study. *Procedia CIRP*, 70, 368–373. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.045>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118304529>. 28th CIRP Design Conference 2018, 23-25 May 2018, Nantes, France.
- Paelke, V. (2015). Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4. 0. environment. *19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2014*. doi:10.1109/ETFA.2014.7005252.
- Pierdicca, R., Frontoni, E., Pollini, R., Trani, M., and Verdini, L. (2017). The use of augmented reality glasses for the application in industry 4.0. In *In International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, 389–401. doi:10.1007/978-3-319-60922-5_30.
- Rau, L., Horst, R., Liu, Y., Dörner, R., and Spierling, U. (2021). A tangible object for general purposes in mobile augmented reality applications. In R.H. Reussner, A. Koziol, and R. Heinrich (eds.), *INFORMATIK 2020*, 947–954. Gesellschaft für Informatik, Bonn. doi:10.18420/inf2020_87.
- van Lopik, K., Sinclair, M.A., Sharpe, R., Conway, P.P., and West, A.A. (2020). Developing augmented reality capabilities for industry 4.0 small enterprises: Lessons learnt from a content authoring case study. *Comput. Ind.*, 117, 103208. doi:10.1016/j.compind.2020.103208. URL <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103208>.
- Zhukovskiy, Y.L. and Koteleva, N.I. (2019). Electrical equipment maintenance system with elements of augmented reality technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 643, 012024. doi:10.1088/1757-899x/643/1/012024. URL <https://doi.org/10.1088/1757-899x/643/1/012024>.