



Proposta de aplicação de biotelemetria em simuladores virtuais de treinamento para avaliação de desempenho

APPLICATION OF BIOTELEMETRY IN VIRTUAL PERFORMANCE TRAINING SIMULATORS

Antonio Valerio Netto¹

¹ Pós-doutor em analytics e biotelemetria.
Departamento de Informática em Saúde, Escola Paulista de Medicina, UNIFESP.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9215-8531>
Email: avnetto@unifesp.br

Correspondência: Edifício José Leal Prado - térreo, R. Botucatu, 862 - Vila Clementino, São Paulo - SP, Brasil. CEP: 4023-062.

Copyright: Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.

Conflito de interesses: os autores declaram que não há conflito de interesses.

Como citar este artigo

Valerio Netto A. Proposta de aplicação de biotelemetria em simuladores virtuais de treinamento para avaliação de desempenho. Revista de Saúde Digital e Tecnologias Educacionais. [online], volume 5, n. 2. Editor responsável: Luiz Roberto de Oliveira. Fortaleza, julho de 2020, p. 103-116. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/resdite/index>. Acesso em "dia/mês/ano".

Data de recebimento do artigo: 19/12/2019

Data de aprovação do artigo: 14/06/2020

Data de publicação: 20/07/2020

Resumo

Objetivo: Apresentar o desenvolvimento de um módulo de biotelemetria que captura dados fisiológicos (frequência cardíaca) de um usuário, utilizando um dispositivo *wearable*, no momento que ele está sendo treinado em um simulador baseado em realidade virtual imersiva. **Método:** Criação de um aplicativo (APP) para Wear OS, instalado em um smartwatch, a fim de capturar e transmitir os dados via Wi-Fi ou 3G/4G para plataforma *cloud*. A solução apoiou-se em uma metodologia de threads utilizado um método de controle de fluxo chamado *stop-and-wait* com o formato de envio JSON. Para armazenamento dos dados foi utilizado o SQLite. **Resultados:** Foi criada uma API (*Application Programming Interface*) para realizar a coleta de dados biométricos de batimento cardíaco e enviar para plataforma *cloud*. Foi possível realizar testes de validação das diferenças dos valores de batimentos cardíacos por minuto (BPM - *Beats Per Minute*) conforme a execução da simulação. **Conclusão:** Entende-se que foi possível validar a proposta de captura de dados fisiológicos durante as sessões de treinamento e a significância dessa informação para auxiliar um possível método de avaliação de desempenho.

Palavras-Chave: Realidade Virtual. Treinamento por Simulação. Tecnologia Educacional. Avaliação de Desempenho Profissional.

Abstract

Objective: Development of a biotelemetry module that captures a user's physiological data (heart rate) using a wearable device as they are being trained in an immersive virtual reality based simulator. **Method:** Create a Wear OS app (APP) installed on a smartwatch to capture and transmit data via Wi-Fi or 3G / 4G to cloud platform. The solution relied on a threading methodology using a flow control method called stop-and-wait with JSON send format. For data storage was used SQLite. **Results:** An Application Programming Interface (API) was created to

perform biometric heartbeat data collection and upload to the cloud platform. It was possible to perform validation tests of the differences in heart rate per minute (BPM) according to the execution of the simulation. **Conclusion:** It is understood that it was possible to validate the proposal to capture physiological data during training sessions and the significance of this information to axilize a possible method of performance evaluation.

Keywords: Virtual Reality. Simulation Training. Educational Technology. Professional Performance Evaluation.

1. Introdução

Os primeiros simuladores introduzidos no Brasil eram basicamente de tiro, isto é, serviam apenas para treinar a destreza da mira utilizando uma arma de fogo. Que inclusive, dentro do método do uso progressivo/seletivo da força, é considerado como última opção de reação, como pode ser observado em Valerio Netto¹. Na época, a justificativa para o emprego do simulador de tiro era simples, tratava-se de uma questão econômica e não educacional, isto é, a principal justificativa era que este tipo de simulador poderia diminuir os gastos com os projéteis reais, além de evitar acidentes com o manuseio de armamento durante os treinamentos.

Ao longo dos anos, diversos estudos sobre o uso de simuladores virtuais para área de segurança foram realizados^{2,3,4,5,6,7,8,9,10,11}. Pinto¹² relatou, em seu estudo, que os agentes de segurança que recorreriam ao uso de força letal, não tinham a devida preparação para intervir em situações reais, tendo implicações no seu desfecho. Segundo a revisão realizada pelo autor, ele concluiu que as situações de treino de tiro real não eram suficientemente representativas da realidade, porque focavam somente o uso da arma de fogo em condições estáticas, dando pouca ênfase à complexidade do conjunto de decisões que normalmente são solicitadas e uma ocorrência real. Em uma pesquisa de campo realizada por Valerio Netto¹³ foi constatado que o treinamento para atividades operacionais é moroso e teórico, e por isto, não consegue sensibilizar o perfil dos profissionais que na sua grande maioria não estão adaptados ao aprendizado tradicional (aula expositiva, leitura, etc.).

De forma positiva, estes estudos apontam que os simuladores virtuais, de forma geral, permitem aumentar a frequência dos treinamentos o que impacta diretamente na memória muscular do profissional e também possibilita realizar os treinamentos dentro das próprias bases operacionais o que evita custos com logística. Além de permitir treinar equipes

menores de profissionais em sessões de curta duração durante o expediente sem precisar realizar horas extras. Com uma simulação virtual é possível treinar um grande volume de profissionais da segurança privada de forma contínua em situações específicas envolvendo ambientes como: shopping, hotel, aeroporto, hospital, banco, etc. Além disso, é possível treinar técnicas de segurança como OMD (Observar, Memorizar, Descrever) e IDA (Identificar, Decidir, Agir) de forma escalável¹⁴.

Um aspecto importante a destacar está relacionado à questão das empresas e instituições de segurança investirem no treinamento do seu colaborador de forma pontual, não existindo uma continuidade com o objetivo de acompanhar indicadores de engajamento e levantamento de atitudes adequadas (boas práticas) durante as operações rotineiras. O entendimento é que muitas vezes, o profissional pode estar passando por um período de dispersão, e por isto, não ser capaz de cumprir corretamente suas atividades operacionais. Diante dessa situação é fundamental saber se o colaborador está em uma fase de stress, ou mesmo, iniciando um quadro de sintoma depressivo. Com isto o empregador é capaz de sugerir uma melhor realocação desse profissional dentro dos quadros de atividades operacionais que ela atua.

Diante desse contexto, foi proposto o desenvolvimento de uma plataforma educacional utilizando Realidade Virtual (RV) imersiva, biotelemetria e algoritmos analíticos para promover a qualificação e a avaliação de desempenho de profissionais de operação. O projeto teve o apoio do programa de inovação em pequenas empresas (PIPE) da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo)²². Fez parte desse projeto a criação de um módulo que utiliza informações fisiológicas do usuário para compor essa avaliação. O módulo de *biofeedback* adquire os dados de frequência cardíaca do profissional durante as suas sessões de treinamento. A proposta foi melhorar a forma de verificar se um profissional está qualificado ou não para trabalhar em determinada atividade operacional de campo.

Neste artigo são apresentadas as contextualizações relacionadas a aplicação da biotelemetria para identificação de stress, as atividades técnicas relacionadas as fases de desenvolvimento desse módulo de captura da frequência cardíaca juntamente com a integração com a plataforma de *cloud computing*, além dos resultados obtidos com os testes de campo.

Aplicação da biotelemetria para identificação de stress

A biotelemetria é definida como a transmissão de dados biológicos ou fisiológicos de uma localização remota para um local que tenha a capacidade de interpretar os dados e afetar a tomada de decisão¹⁵. A telemetria biomédica é um campo especial da instrumentação biomédica que permite a transmissão de informações biológicas de um local, muitas vezes, inacessível para um local de monitoramento remoto. Quando a observação direta é impossível, a biotelemetria pode ser usada para obter um amplo espectro de dados ambientais, fisiológicos e comportamentais¹⁶.

A biotelemetria inclui a capacidade de monitorar humanos e animais com restrição mínima e fornecer uma reprodução dos dados transmitidos. A sua vantagem é a medição de variáveis fisiológicas em seres humanos e animais conscientes e desenfreados. Ela oferece coleta de dados sem fio, sem restrições, simultânea e de longo prazo¹⁷. Medições baseadas em biotelemetria podem ser classificadas em duas categorias:

- Variáveis bioelétricas:
 - ECG (Eletrocardiograma),
 - EMG (Eletromiografia) e
 - EEG (Eletroencefalografia);
- Variáveis fisiológicas que requerem transdutores, como: pressão arterial, pressão gastrointestinal, fluxo sanguíneo e temperatura. Ao utilizar transdutores adequados, a telemetria pode ser empregada para a medição de uma ampla variedade de variáveis fisiológicas¹⁸.

No caso do *biofeedback*, trata-se do retorno imediato da informação por meio de dispositivos eletrônicos sobre determinados processos fisiológicos da pessoa, como por exemplo, frequência cardíaca, temperatura, entre outras.

A aplicação do *biofeedback* evidencia a eficácia, enquanto técnica complementar, no controle do stress, por exemplo, no contexto universitário envolvendo alunos¹⁹. Os principais problemas com estes alunos estão relacionados com os estudos, as indisposições, as doenças, as depressões e a inadaptação aos conteúdos programáticos. O stress foi identificado como principal fator prejudicial ao bom desempenho acadêmico para 32% dos 50 mil estudantes, segundo a pesquisa realizada em 74 campus universitários nos Estados Unidos²³.

A saúde física e mental pode ser afetada quando o nível de stress percebido ou real culmina em recorrentes ruminações, que consomem a energia indispensável ao bom

funcionamento acadêmico, diminuindo os fatores de resiliência, como a capacidade adaptativa. Altos níveis de distress estão relacionados com respostas de ansiedade, depressão, ideação suicida, comportamentos de risco, distúrbios de sono, dores de cabeça, etc. Nestas condições, a atividade intelectual fica comprometida, a percepção do meio ambiente altera-se, as interpretações errôneas sucedem-se e o indivíduo torna-se intelectualmente improdutivo. A tolerância à frustração diminui e a pessoa fica ansiosa, podendo cair em um ciclo vicioso de tensão e apreensão que irá comprometer a capacidade de atenção, de concentração, de memorização e de decisão²⁰. Deste modo, as decisões podem tornar-se prematuras e impulsivas. A pessoa torna-se um mau observador, pois a sua atenção está diminuída devido ao seu estado de stress.

Com relação à ansiedade, trata-se de um conjunto de fatores que podem ocorrer concomitantemente ou não, em situações potencialmente estressantes ou mesmo em situações que aparentemente não apresentam risco algum. Os principais sintomas são: alterações fisiológicas (aceleração do batimento cardíaco, distúrbios do sono, enrijecimento muscular, etc.), alterações emocionais (sensação de medo e terror, etc.), alterações no campo do pensamento (tendência a aumentar negativamente a realidade) e incapacidade de reação (ficar paralisado).

Em certos momentos da vida, as mesmas reações fisiológicas podem colocar a pessoa em posição de enfrentamento, principalmente nas que envolvem atividade física, porém esta situação só ocorrerá se o indivíduo possuir habilidades para “manipular” as demais alterações. A ansiedade é definida pela APA (*American Psychiatric Association*) como um estado emocional com alterações dos componentes psicológicos e fisiológicos; porém sabe-se que é uma emoção natural do ser humano, mas dependendo do nível em que se encontra, poderá ser considerada patológica²¹.

Um exemplo é o caso do dependente químico, quando em estado de ansiedade pela droga, apresenta alguns sintomas físicos como: tremores, tensão muscular, inquietação, dificuldades em respirar, palpitações, transpiração, sudorese e etc. A dificuldade de lidar com esta ansiedade frente a situações de risco poderá inconscientemente, induzir o dependente químico ao consumo da droga, pois o uso desta representa uma resposta frente a situações de conflitos e/ou sentimentos negativos e estímulos estressores. Na pesquisa de Silva *et al.*²¹ utilizou-se os sinais da frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FRP) e a resposta galvânica da pele (GSR) para detectar automaticamente a ansiedade. Neste trabalho considerou-se a existência de uma relação profunda entre as emoções e o

coração optando por mensurar a variação da frequência cardíaca dos participantes da pesquisa. O ritmo dos batimentos cardíacos está associado ao estado emocional em que os indivíduos se encontram, portanto, batimentos acelerados são associados à ansiedade, assim como batimentos muito lentos podem ser associados à depressão.

2. Métodos

Para o desenvolvimento do módulo de *biofeedback* foi aplicado o método IVP2 (em português “Método Iterativo e Visual para Gestão de Projetos”), que se baseia no uso dos princípios e práticas do gerenciamento ágil de projetos. O método possui cinco fases: visão, concepção, projeto detalhado, validação interna e externa, e por fim, encerramento e adoção.

A primeira atividade foi o estudo da plataforma Wear OS, antigamente conhecido como Android Wear. Trata-se de um sistema operacional Android específico para dispositivos vestíveis (*wearable*) como o *smartwatch*. O Wear OS foi escolhido, pois, possui uma biblioteca nativa em linguagem Java para leitura da frequência cardíaca.

Para a realização dos testes, o *wearable* escolhido foi o modelo LG *Watch Sport*. Além da frequência cardíaca, também foi capturada a coordenada do GPS (*Global Positioning System*), e o cálculo dos movimentos, por meio do acelerômetro. Porém, para essa versão da solução foi utilizada somente a leitura e o envio da frequência cardíaca.

O aplicativo apoiou-se em uma metodologia de alarmes ou *threads*, que são responsáveis por executar tarefas de tempos em tempos para a aquisição dos dados. Esses dados são inseridos em um banco de dados local, ou seja, não é realizado o envio dos dados para a plataforma no momento da leitura. Para o envio, foi utilizado um método de controle de fluxo chamado *stop-and-wait*, ou seja, é acumulada uma quantidade de dados no banco de dados local, para posteriormente, ser enviado em lotes. Foi realizado dessa forma para evitar problemas envolvendo falta de memória.

O conjunto de soluções para o funcionamento do envio dos dados inclui: a arquitetura de comunicação, o protocolo e o formato dessa comunicação. A arquitetura escolhida foi *client-server*, onde o *smartwatch* é o cliente e a plataforma *cloud* é o servidor. O protocolo de comunicação para o envio dos dados foi o HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol Secure*) e o formato de envio escolhido foi o JSON (*JavaScript Object Notation*). Outro ponto importante foi à escolha de um padrão de projeto chamado MVP (*Model View Presenter*) para organizar a comunicação entre a interface de usuários e os serviços HTTPS.

Ao executar o aplicativo (APP) instalado no *smartwatch*, o usuário se depara com a primeira interface chamada de *splash screen*, que exibe uma imagem com o logotipo do projeto por um segundo e redireciona para uma tela inicial. São realizados alguns procedimentos como: perguntar ao usuário sobre as permissões, geração da chave de sincronização e gravação dessa chave no sistema de arquivos. Este tipo de pergunta sobre permissões de acesso aos recursos foi introduzido a partir da versão 6.0, obrigando a perguntar ao usuário, se o mesmo aceita ou rejeita que o aplicativo acesse um determinado recurso. No caso do projeto foram pedidas a permissão para ler a frequência cardíaca e realizar a escrita/leitura de arquivos no sistema operacional. Caso o usuário rejeite alguma permissão, o aplicativo exibirá uma mensagem de erro, dizendo que todas as permissões são obrigatórias.

A plataforma *cloud* possui um protocolo de segurança para o envio dos dados, onde é necessário gerar uma chave de sincronização e cadastrar essa chave na interface do usuário no servidor *cloud*. A chave é composta de letras *case sensitive* ("A" é diferente de "a") e números aleatórios, com um tamanho de sete caracteres.

Importante comentar que, antes de gerar a chave, é realizada uma verificação no arquivo chamado "synckey". Após essa validação, e detectada a inexistência do arquivo, é gerada uma chave e armazenada nesse mesmo arquivo. A chave é salva em memória como membro estático da classe. Caso o arquivo tenha sido gerado anteriormente, o mesmo é lido e salvo em memória. Após a execução desses procedimentos, o usuário é redirecionado para a interface principal do aplicativo. Para a construção dessa interface foi utilizada a ferramenta de *layout*, "LinearLayout", para composição de uma estrutura básica linear e simples com o objetivo de facilitar a visualização e a configuração das informações. Na Figura 1 é apresentada a tela principal, onde constam as seguintes informações:

- Serial é o número de série do *hardware* do dispositivo;
- *Key* é a chave de sincronização gerada anteriormente e adquirida a partir do membro estático e classe;
- CONFIG é a opção para redirecionar o usuário a interface de configuração;
DETAILS SYNC é a opção de verificação da sincronização em tempo real.

Figura 1: Interface principal do aplicativo.



Fonte: Próprio autor.

Para o armazenamento dos dados foi utilizado o SQLite. Trata-se de um banco de dados relacional simplificado embutido, cujo Android, oferece recurso nativo para manipulação.

Ao exibir a interface principal também são executados quatro procedimentos. São eles: exibição das informações *Serial* e *Key*, inicialização do SQLite e início da *thread* de leitura dos dados fisiológicos da frequência cardíaca com o *schedule* de repetição do *android*. No início do processo de envio das informações, é realizada uma verificação se o *listener* de recebimento do sensor de frequência cardíaca foi iniciado. Caso não tenha sido, é informado ao sistema operacional para dar início ao processo. A medida da frequência cardíaca é fornecida como um número inteiro positivo, que significa os batimentos cardíacos por minuto da pessoa, ou, BPM (*Beats Per Minute*).

A função do *listener* de recebimento salva o dado que foi entregue na tabela local do banco de dados do SQLite. Para o dado ser entregue pelo sistema operacional ao *listener* é necessário que haja uma alteração no número do BPM. Por exemplo, de 40 para 41 BPM. O armazenamento e o envio dos dados são processos executados em paralelo, sendo que um não depende do outro, visto que, o processo de envio verifica os dados direto no banco de dados. A Figura 2 (anexo) exemplifica esse processo.

O processo de envio é executado de dois em dois minutos (aquisição dos dados no banco local e o envio para o *cloud*). Porém, antes de adquirir os dados, o processo salva as informações de sincronização, que serão úteis para o usuário verificar em tempo real o *status* do processamento. As informações são salvas na tabela "info_sync", onde é

armazenada a última data de sincronização, que é a data e horário de criação do último dado. Os dados que serão enviados são adquiridos em pacotes. Cada pacote contém 50 dados organizados em ordem cronológica de criação, sendo que, os dados que serão adquiridos terão a data e horário de criação maior que a última data e horário de sincronização.

Ao escolher a opção CONFIG, na interface principal do aplicativo, o usuário é redirecionado para uma outra tela. Nessa tela, o usuário pode inserir o ID do sensor. Esse ID é um número sequencial gerado na plataforma *cloud* após a criação do sensor. Na opção DETAILS SYNC, o usuário é redirecionado para uma tela onde constam informações sobre o processo de sincronização. Constam as seguintes informações: ID do sensor salvo, próxima data e horário de sincronização, último texto de sincronização, última data de sincronização e quantidade de dados que não foram sincronizados.

Na fase de validação interna foi testada as funcionalidades do sistema (bugs de tela, *crash*, comunicação, etc) e depois realizado os testes operacionais (lógica e interpretação dos dados). Além disso, foram aplicados os testes de caixa branca e caixa preta. Os testes de carga (volume de pessoas acessando o sistema) foram realizados e foi dada especial atenção para os testes de comunicação entre os simuladores, *smartwatch* e a plataforma de *cloud computing*.

A validação externa foi separada em duas etapas. A primeira foi referente a captura da frequência cardíaca e o envio desse dado. Na aquisição da frequência cardíaca, ao ser implementado o *listener* de recebimento, foi adicionado *logs* no *output* da IDE (*Integrated Development Environment*) de desenvolvimento, para verificar se o dado estava sendo entregue ao *listener* para ser processado. As informações impressas no *logs* são: data e horário em UTC (do inglês *Coordinated Universal Time*) e o valor do BPM. A segunda etapa focou nos testes de validação das diferenças dos valores de BPM. Foi utilizado um grupo de cinco pessoas com idades entre 25 a 45 anos. O ambiente virtual utilizado retratava uma situação de treinamento, envolvendo atividades de transporte de malote com dinheiro para abastecimento de caixas eletrônicos em um banco.

3. Resultados

Foi criada uma API (*Application Programming Interface*) para realizar a coleta de dados biométricos de batimento cardíaco de cada aluno e enviar para plataforma *cloud computing* durante a execução de um módulo de treinamento simulado. Isto é, enquanto o

usuário está participando da simulação, os dados da sua frequência cardíaca são coletados pelo sensor embarcado no *smartwatch*. Posteriormente, o sistema realiza o envio desses dados para a plataforma *cloud* por meio da rede 3G/4G ou Wi-Fi.

Esses dados, quando chegam na plataforma *cloud*, são armazenados em uma estrutura de dados no formato REDIS. Para esta etapa do projeto, os dados coletados foram disponibilizados em um gráfico na tela e também para *download* no formato "CSV". A Figura 3 (anexo) apresenta um exemplo de gráfico contendo a medição de batimento cardíaco durante um teste prático.

Os testes de campo para validar o funcionamento do módulo incluíram capturar os dados da frequência cardíaca com o *smartwatch* no pulso do profissional. Posteriormente, verificar se os dados estavam sendo enviados para a plataforma *cloud* por meio do protocolo HTTPS. Depois, verificar o espectro de valores de BPM tanto para uma pessoa em repouso quanto para uma pessoa em atividade normal, além de uma terceira em situação atípica onde está exposta a uma situação problema onde ela precisa tomar uma decisão.

Os resultados com os testes externos demonstraram que em repouso (não estava usando o simulador) e na atividade normal (estava usando o simulador e as cenas vivenciadas eram de rotinas como caminhar na calçada ou entrar no banco), os valores variaram entre 50 e 90 BPM. Em situação atípica (situação crítica como uma tentativa de assalto), os valores de alguns participantes variaram entre 168 e 176 BPM (Figura 4 no anexo). Um dos aspectos identificados durante os testes, é que quando a tela do *smartwatch* estava ligada com o 3G/4G e o sensor de frequência cardíaca, ativados, a bateria do aparelho estava durando apenas duas horas. Buscou-se identificar uma maneira de aumentar a autonomia do aparelho. Observou-se que desligando somente a tela, o *smartwatch* se mostrou estável durante sete horas seguidas. Contudo quando o sistema operacional está em fase de hibernação e com a tela desligada (*Doze* e *Standby*), o sistema operacional limita os recursos de CPU e rede fazendo com que o processo de envio de dados via Wi-Fi simplesmente parava. Foi necessário modificar o modo *doze* do *smartwatch*.

Outra dificuldade encontrada estava relacionada a quantidade de dados armazenados no banco de dados local e o envio desses dados para a plataforma *cloud*, pois uma grande quantidade de dados enviados de uma única vez estava prejudicando o desempenho da plataforma. Foi escolhido um conjunto de 50 dados por vez, ordenados em ordem cronológica de data de cadastro.

4. Conclusão

Entende-se que foi possível validar a proposta de captura de dados fisiológicos (grupo de cinco pessoas com idades entre 25 e 45 anos) durante as sessões de treinamento e a significância dessa informação para auxiliar um possível método de avaliação de desempenho. Durante o desenvolvimento foram encontradas algumas dificuldades técnicas já citadas anteriormente juntamente com a forma com que foram sanadas. Como trabalho futuro, tenciona-se realizar a diminuição da quantidade de dados enviados para a plataforma *cloud*. A ideia é encaminhar somente uma quantidade de dados que são realmente significativos, ou seja, os dados que variam acima de uma determinada quantidade de BPM. Outro trabalho está na avaliação do emprego de algoritmos analíticos preditivos para identificação de padrões de comportamento.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por meio do seu programa de Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT) e ao programa de Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE) da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo).

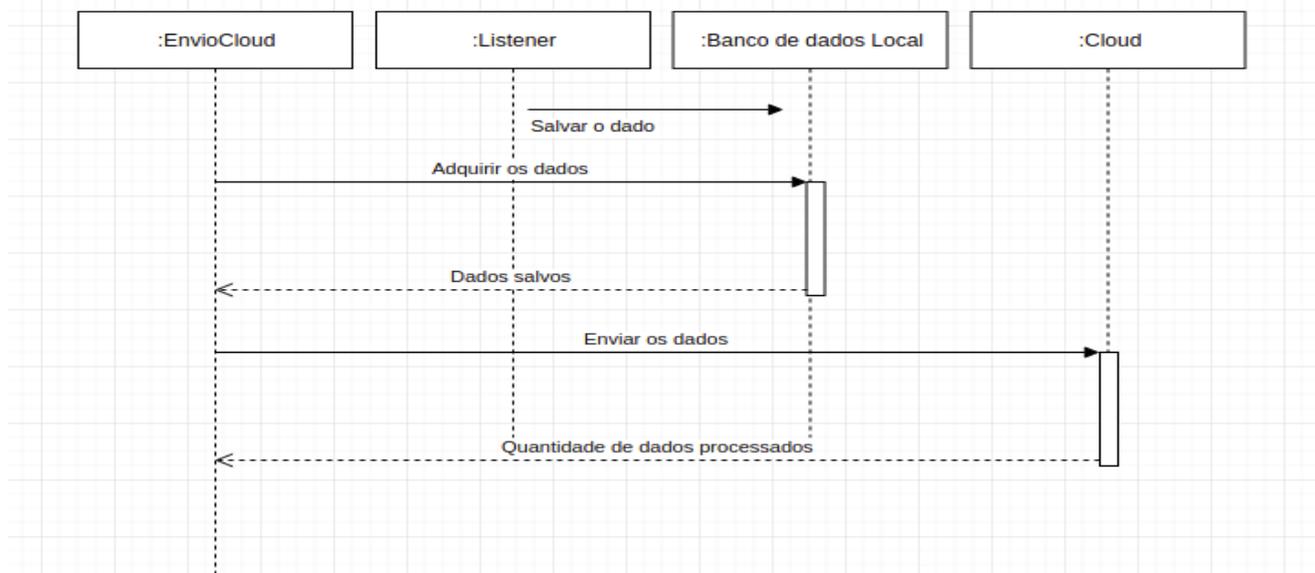
5. Referências

1. Valerio Netto, A. Tecnologia de treinamento interativo para diminuição de custos e aumento de desempenho de profissionais da área de segurança privada e pública, Coletânea ABSEG de segurança empresarial, vol. 2, pp. 20-30, junho, São Paulo (SP), ABSEG, 2016.
2. Furuie LMA. Melhoria na segurança pública com treinamento continuado do policial militar em estande de tiro modelo. 2013. Disponível em: <<http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/30433/R%20-%20D%20%20LESLY%20MIKI%20ABE%20FURUIE.pdf>>. Acesso em 13/03/2018.
3. Alves D. O emprego da realidade virtual no treinamento policial para o enfrentamento de criminosos com ênfases nos chamados encontros mortais: uma abordagem baseada na teoria geral de sistemas, Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.
4. Pereira CMG. Realidade virtual como ferramenta para treino policial: desenvolvimento de um simulador para treino de tiro ao alvo, Master's thesis, Universidade de Aveiro, 2014.
5. Reis AV; Gonçalves B; Garcia FLS. Um Estudo em Interfaces Tangíveis: Avaliação de Usabilidade de um Simulador de Armas de Fogo. *Human Factors in Design*, 3(5), pp. 4-22, 2014.
6. Rosa M. Uma análise das técnicas operacionais de inteligência no contexto das operações de inteligência de segurança privada. *Segurança Privada-Unisul Virtual*, 2014. Disponível em: <<http://www.riuni.unisul.br/handle/12345/369>>. Acesso em 20/03/2018.

7. Rosa AJP.; Pavanati I. A utilização da realidade virtual e aumentada na formação dos policiais militares em Santa Catarina. *Revista Ordem Pública*, 7(2), pp. 37-51, 2015.
8. Neto D; Maria J. O uso do simulador de tiro na formação e adestramento do agente de segurança da presidência da república. 2015. Disponível em: <<https://riuni.unisul.br/handle/12345/397>> Acesso em 03/03/2018.
9. Gomes PA. Simulação nos Desafios do Futuro para a Operacionalidade das Forças de Segurança: o seu Emprego na Guarda Nacional Republicana. 2016. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14632/1/TII_Maj%20GNR%20Gomes_A%20Simula%C3%A7%C3%A3o%20na%20GNR_Final.pdf>. Acesso em 03/03/2018.
10. Dall'agnol RP; Pires EA; Santos S; Machado GJC; Russo SL. Mapeamento tecnológico de patentes de simuladores de tiro. *Cadernos de Prospecção*, 9(1), pp. 70-76, 2016.
11. Pinheiro EB; Gomes GA; Coutinho EF; Vidal CA; Neto JBC. Requirements for Development of a Low Cost Portable Simulator for Shooting Skill Training. *Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pp. 234-238, 2016.
12. Pinto PRP. Treino de tiro: análise de situações de treino em contexto policial, Doctoral dissertation, Universidade da Beira Interior, 2009. Disponível em: <<https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/1805>>. Acesso em 20/03/2018.
13. Valerio Netto A. Aplicação de simuladores de realidade virtual e Problem Based Learning para o treinamento de profissionais da área de segurança. *Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia*, v. 7, n. 2, 2018.
14. Valerio Netto A. Utilização de simuladores para medir o desempenho de profissionais de segurança. *Revista brasileira de segurança pública*, v. 12, pp. 92-106, 2018.
15. Güler NF; Übeyli ED. Theory and applications of biotelemetry. *Journal of Medical Systems*, v. 26, n. 2, p. 159-178, 2002.
16. Wolcott TG. New options in physiological and behavioral ecology through multichannel telemetry. *J. Exp. Marine Biol. Ecol.* 193:257-275, 1995.
17. Meindl JD; Ford AJ, Implantable telemetry in biomedical research. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* BME-31(12):817-823, 1984.
18. Cromwell L, Weibell FJ, Pfeiffer EA, Biotelemetry. In Huebner, V. (ed.), *Biomedical Instrumentation and Measurements*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, chap. 12, pp. 316-343, 1980.
19. Rodrigues H; Pereira A. O Stress e a Ansiedade aos Exames: Contributo do Biofeedback. I Congresso Nacional da RESAPES-AP. *Apoio Psicológico no Ensino Superior: modelos e práticas*, pp. 89-95, 2010.
20. Serra VA. *O stress na vida de todos os dias*, 2ª ed., Coimbra, 2002.
21. Silva M; Martucci H; Santi R; Slaets A. Determinação automática da ansiedade por detecção computadorizada de sinais biológicos. *Proceedings of IV Congresso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica*, v. 18, p. 118-121, 2007.
22. BV-CDI. Desenvolvimento de sistema de treinamento virtual para medir desempenho e comportamento de profissionais da área de segurança pública e privada. Disponível em: <<https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/97406/desenvolvimento-de-sistema-de-treinamento-virtual-para-medir-desempenho-e-comportamento-de-profissio/>>. Acesso em 20/08/2019.
23. Serra VA. *O stress na vida de todos os dias*, 2ª ed., Coimbra, 2002.

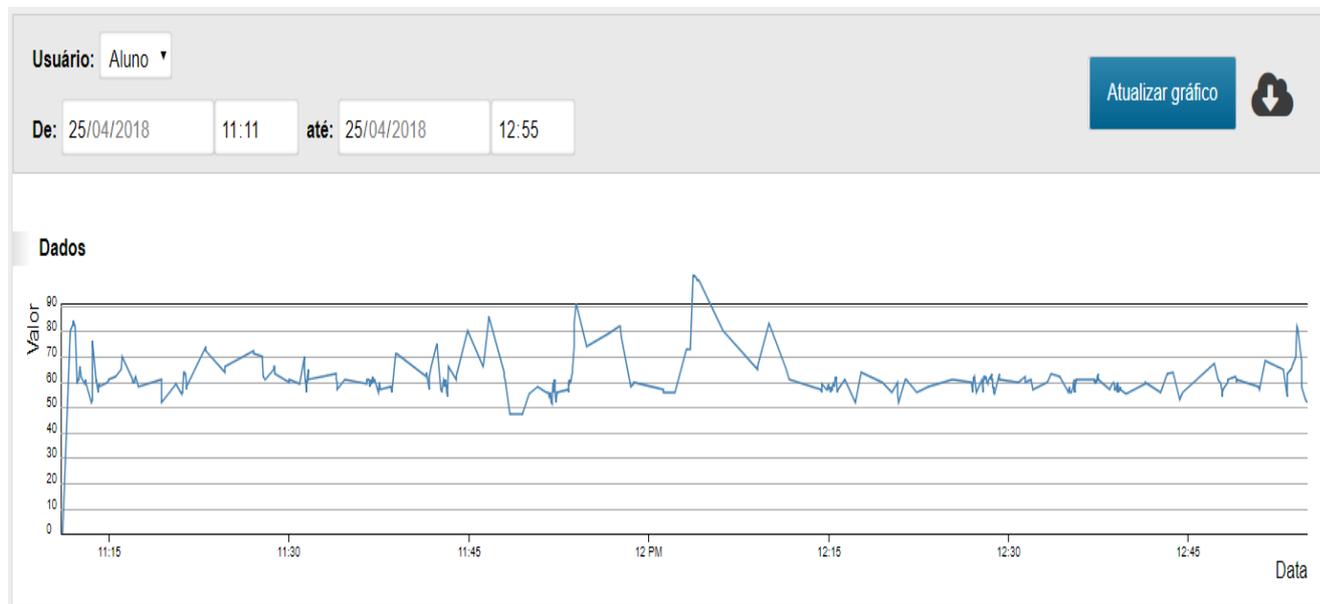
Anexos

Figura 2: Diagrama de sequência que exemplifica os processos de salvamento no banco de dados local e o envio para o *cloud*.



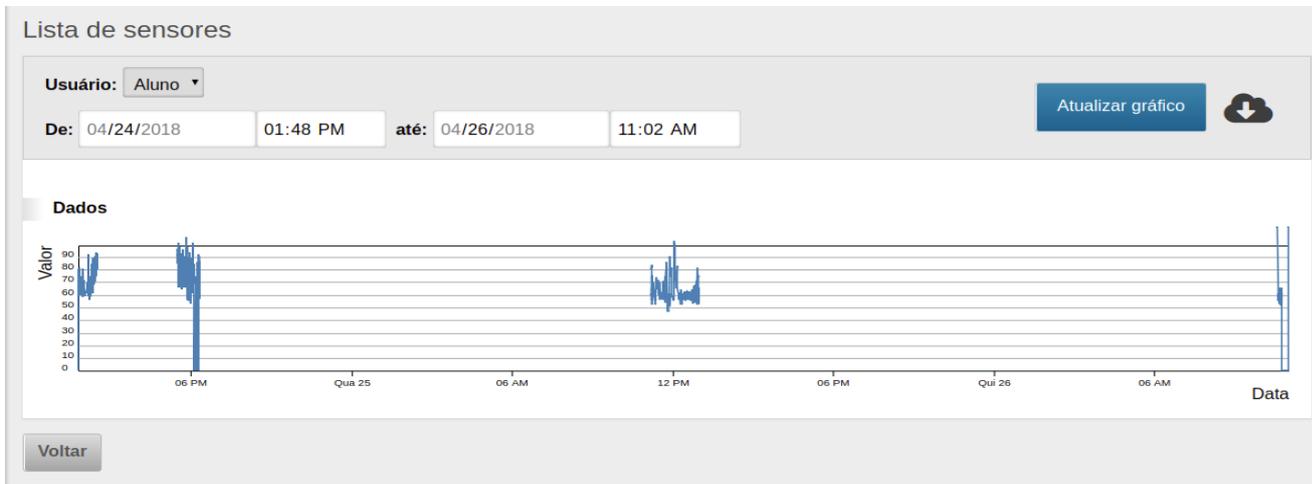
Fonte: o autor.

Figura 3: Gráfico de batimento cardíaco de um aluno.



Fonte: o autor.

Figura 4: Dados da frequência cardíaca enviada.



Fonte: o autor.