

## ***mHealth: O USO DE SMARTPHONES PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICAS***

### *mHealth: THE USE OF SMARTPHONES ON BIOMEDICAL APPLICATIONS*

**Pedro Machado Wurzel<sup>1</sup> e Paulo Jefferson Dias de Oliveira Ewald<sup>2</sup>**

#### **RESUMO**

Os *smartphones* estão presentes na vida de muitas pessoas, e sua popularidade fez com que o movimento *mHealth* se torne um dos mais promissores atualmente. Por possuírem uma grande capacidade de computação e armazenamento de dados, estes dispositivos tornaram-se ferramentas poderosas que podem ser utilizadas para a obtenção e análise de dados corporais na área médica. Diversos estudos mostram sua eficácia em análises de atividades físicas, comportamento durante o sono e atividade cardíaca, bem como seu uso em conjunto com diferentes sensores externos conectáveis para mensurar e avaliar outros parâmetros biomédicos. Assim, neste trabalho apresenta-se uma revisão de diversas aplicações biomédicas recentes, suportadas por *smartphones* e propõem-se uma discussão sobre os desafios e perspectivas dessa promissora área.

**Palavras-chave:** *Aplicativos, Validação de Dispositivos, Instrumentação Biomédica.*

#### **ABSTRACT**

*Smartphones are present in many people's lives, and their popularity has made the mHealth movement one of the most promising today. Because they have a large capacity for computing and data storage, these devices have become powerful tools that can be used to obtain and analyze body data in the medical field. Several studies show its effectiveness in analyzes of physical activities, behavior during sleep and cardiac activity, as well as its use in conjunction with different connectable external sensors to measure and evaluate other biomedical parameters. Thus, this work presents a review of several recent biomedical applications, supported by smartphones, and proposes a discussion about the challenges and perspectives of this promising area.*

**Keywords:** *Apps, Device Validation, Biomedical Instrumentation.*

---

1 E-mail: pedro.wurzel@ufn.edu.br

2 E-mail: paulo.ewald@gmail.com

## INTRODUÇÃO

A ampla ascensão do uso dos *smartphones* na última década gerou diversas mudanças importantes nos hábitos e comportamentos, como a possibilidade das pessoas acessarem com facilidade muitas informações sobre saúde, considerando desde os aplicativos que atendem a esta demanda, até mesmo *sites* e redes sociais (VERZANI; SERAPIÃO, 2020). Os aparelhos celulares são utilizados no cotidiano em numerosas atividades, principalmente como facilitadores da comunicação, tanto entre pessoas, quanto com jornais digitais, lojas *online* e pesquisas. Com as atividades e os relacionamentos sendo cada vez mais móveis e mediados pela *internet*, o *smartphone* torna-se um instrumento essencial para organizar a vida social (BARBOSA *et al.*, 2020).

Até o ano de 2021, o número de *smartphones* no planeta deve superar a marca de 3,8 bilhões. Com essa enorme popularidade, juntamente com os simultâneos avanços tecnológicos nas áreas de imagens, baterias e sensores, como por exemplo, acelerômetro, giroscópio, magnetômetro, sensor de luz ambiente e microfone, que estão presentes nos aparelhos celulares modernos, o uso desses dispositivos na área da saúde torna-se uma opção mais acessível e de menor custo para diversas aplicações. Esses sensores embutidos podem ser usados para realizar a medição de vários parâmetros de saúde, tais como: a atividade cardiovascular, frequência cardíaca e sua variação, com o uso de câmera e microfone; atividade respiratória, com sensor de imagem e de som; monitoramento do sono, com sensores de movimento (acelerômetro e giroscópio); atividades físicas diárias, com sistema global de posicionamento (GPS), acelerômetro, giroscópio e sensores de proximidade; e doenças de pele e oculares. Assim, possibilita-se um sistema de monitoramento de saúde passivo contínuo (MAJUNDER; DEEN, 2019; SEO *et al.*, 2019; FERRER-LLUIS *et al.*, 2020).

Além dos sensores presentes nos *smartphones* atuais, é possível também fazer o uso de dispositivos externos conectáveis, dentre eles: polissonógrafos, dispositivos cardiovasculares implantados, pedômetros e *smartwatches*. Em vista disso, aparelhos móveis que coletam informações de atividades físicas passivamente têm sido promovidos na literatura biomédica (FUKAZAWA *et al.*, 2019). Por meio de aplicativos de celulares e instrumentos externos, é possível realizar análises de sangue e tecidos do corpo sem a necessidade de ir até um laboratório para a realização do mesmo. Isso contribui para uma significativa economia de dinheiro e tempo (GAN; POON, 2016). Esse movimento de utilização de *smartphones* com dispositivos conectados a eles na área da saúde é chamado de *mHealth* (*mobile health*, ou “saúde móvel”, em tradução livre para o português). Recentemente, há a tendência do desenvolvimento de sensores moleculares para a detecção e monitoramento de biomarcadores de doenças que são compatíveis com aparelhos celulares, permitindo a efetivação de diagnósticos médicos remotamente, aumentando a conveniência, velocidade e qualidade dos resultados (SUN *et al.*, 2016).

No aspecto de segurança aos usuários, a regulação de aplicações médicas com aplicativos de celulares tem sido debatida e proposta por pesquisadores, devido a preocupação com possíveis danos

causados por elas. Segundo Majumder e Deen (2019), a principal dificuldade encontrada pelos órgãos regulatórios para a verificação e validação das tecnologias é a falta de envolvimento de profissionais médicos durante o processo de design e avaliação dos sistemas. Outro problema, segundo os autores, é que as especificações apresentadas pelas agências governamentais responsáveis não são claras, não distinguindo diretamente aplicativos médicos de aplicativos de *fitness* e bem-estar, assim como aplicativos de diagnóstico para com os de monitoramento. De acordo com Bindhim e Trevena (2015), a *Food and Drug Administration* (FDA), agência governamental dos Estados Unidos da América (EUA), apenas regula aplicativos que se enquadram na definição regulatória de “dispositivos médicos regulados”, excluindo uma enorme lista de aplicações médicas que podem gerar danos aos pacientes em caso de mau funcionamento.

O uso de dados que são mais específicos de cada paciente, precisos e minimamente intrusivos podem originar modelos de atendimento à saúde que sejam mais interligados, personalizados e mais inteligentes (CORNET; HOLDEN, 2018). Tendo isso em vista, este trabalho propõe uma revisão, utilizando literaturas recentes, sobre as aplicações biomédicas que utilizam *smathphones* e dispositivos inteligentes correlatados, com objetivo de organizar tal literatura e discutir os resultados obtidos nos trabalhos avaliados, bem como propor uma discussão sobre os próximos passos dessa nova área de pesquisa em benefício do atendimento seguro às pessoas. Dentre as aplicações observadas estão: o monitoramento de atividades físicas, da atividade cardíaca e o uso de biossensores em conjunto com os *smartphones*. *Os trabalhos da literatura revisados foram buscados na ferramenta online Google Acadêmico, onde foram inseridas as seguintes palavras chaves: biomedical apps, mHeath, mobile biomedical application e biomedical smartphone, que juntas retornaram mais de 10000 resultados. A busca foi restringida ao período de 2015 à 2021, tendo como mérito de escolha os artigos publicados em periódicos de editoras mundialmente respeitadas, tais como: IEEE, Elsevier, Springer, entre outras.*

## MONITORAMENTO DE ATIVIDADES FÍSICAS

*Smartphones* possuem grandes capacidades de computação e armazenamento de dados, além de uma grande variedade de sensores e a capacidade de conexão sem fios. Essa ampla capacidade técnica permite a obtenção, processamento e envio de informações acerca de atividades físicas, juntamente com outros dados relativos à saúde do indivíduo (HEKLER *et al.*, 2015).

Alguns trabalhos anteriores, fazendo o uso de acelerômetros já disponíveis no aparelho celular, conseguiram desenvolver algoritmos capazes de categorizar ações como caminhar, sentar, ficar em pé e subir escadas com 91% de precisão. Orr *et al.* (2015) avaliou a qualidade dos dados adquiridos pelos três aplicativos com pedômetros mais baixados, sendo eles: *Accupedo*, *Moves* e *Runtastic Pedometer*. Os dados foram obtidos em diferentes situações diárias e comparados com a observação direta e com um pedômetro de laboratório, *Yamax SW-200*. Ao final do estudo, os resultados apresentados pelos

aplicativos não foram validados e nem consistentes, tanto dentro quanto fora do laboratório. Desta forma, destaca-se a importância da validação de qualquer nova aplicação, principalmente quando esta aplicação for relacionada a saúde dos usuários.

Outros estudos sugerem que os dados de aplicativos em *smartphones* são acurados para contar passos. Case *et al.* (2015) indica que as informações obtidas pelos aparelhos móveis se diferenciam por muito pouco dos adquiridos em laboratório, sendo por vezes maior ou menor. São utilizados neste estudo os aplicativos *Moves*, *Health Mate*, e *Fitbit*, assim como os acessórios vestíveis *Nike Fuelband* e *Jawbone UP24*, e o pedômetro *DigiWalker SW 200*. Em comparação com a observação direta, essa diferença foi, em média, de - 0,3% a 1%, e os dados foram consistentes entre os testes de 500 e 1500 passos. Ao comparar ambos os trabalhos, destaca-se que o segundo realiza apenas medições em laboratório, enquanto o primeiro utiliza tanto o ambiente controlado quanto ambientes externos, o que pode ser um fator a ser levado em consideração tendo em vista os diferentes resultados encontrados. Outros elementos que podem ter interferido na diferença entre eles é o número baixo de participantes, os diferentes aplicativos utilizados para a medição dos passos e os diferentes aparelhos celulares usados, visto que ambos utilizaram diversos modelos distintos, não sendo possível comparar diretamente os resultados de ambos trabalhos devido as diferentes condições dos testes realizados.

Outra possibilidade para o uso do *smartphone* é a classificação de atividades físicas. Li *et al.* (2016) desenvolveu um método pelo qual, por meio do acelerômetro e giroscópio do aparelho celular, o classificador informa o tipo de exercício que está sendo realizado, dentre elas: correr, sentar, ficar em pé, caminhar e andar de bicicleta. As informações foram coletadas dos dois sensores com a frequência de 50 Hz, em três dimensões. Para que a localização do *smartphone* em relação ao corpo e as medidas do indivíduo não alterassem os dados, foi desenvolvido um método de aprendizagem *online*, com o qual os próprios dados coletados do consumidor continuamente melhoram os parâmetros do modelo, tornando-o mais específico para cada pessoa. A classificação é realizada pelo próprio algoritmo, no dispositivo. A ferramenta *Adaboost-Stump* atingiu uma elevada acurácia de classificação de 98%, e assim pode ser considerada viável para tal aplicação.

Algoritmos classificadores também podem ser usados para detectar anormalidades posturais e na marcha, podendo detectar doenças como esclerose múltipla. Creagh *et al.* (2020) desenvolveu um modelo preditivo para a detecção de disfunções, que pode ser captado remotamente, durante um teste de caminhada de dois minutos, utilizando a câmera de um *smartphone* e um sensor inercial de um *smartwatch*. São avaliadas as características das informações extraídas dos dois dispositivos, e posteriormente é construído um modelo para a realização da predição. Em seu trabalho concluiu que, com apenas esses dois dispositivos, foi possível realizar a distinção da marcha entre indivíduos com esclerose múltipla e o grupo controle com alta acurácia, mesmo que poucas características da marcha dos participantes estivessem sendo investigadas. Sistemas como esses podem trazer muitos benefícios para atletas e seus treinadores. Os dados biométricos coletados durante o treino são facilmente

armazenados e enviados para um computador, onde uma análise mais detalhada pode ser realizada para a obtenção de um melhor rendimento esportivo (OLESON; KOVACH, 2017).

Muitos *softwares* de monitoramento de atividade física também avaliam o sono, e essa nova função atrai um grande interesse do campo da saúde. Podem ser analisados vários aspectos, tais como: o horário que o indivíduo se deitou, quanto tempo demorou para dormir, quanto tempo ficou na cama, quanto tempo dormiu, quando acordou e quando levantou da cama. Alguns dispositivos também dividem o período de sono entre leve e profundo, e apresentam um relatório com essas informações (WRIGTH *et al.*, 2017). Embora seja um período de relativa inatividade da pessoa, o monitoramento pode ocorrer por meio do acelerômetro e microfone presentes no aparelho celular. Embora existam poucos estudos, percebe-se que os *smartphones* são ferramentas capazes de realizar esse monitoramento, e não necessitam de dispositivos adicionais, pois já possuem sensores suficientes para captar a duração do sono e eventuais interrupções (ALEDAVOOD *et al.*, 2019).

O trabalho de Ferrer-Lluis *et al.* (2020) propõe um sistema baseado no acelerômetro do *smartphone* colocado sobre o esterno do indivíduo para detectar a respiração, e possíveis problemas respiratórios, durante o sono. O sistema foi testado durante sessões noturnas e os resultados foram comparados com os dados obtidos por um monitor de sono portátil, *Apnealink*, que foram revisados por especialistas clínicos da área. Observando os resultados, pôde-se concluir que o algoritmo desenvolvido foi capaz de distinguir padrões de respiração com disfunções durante o sono, e que a aplicação baseada em *smartphone* pode detectar os mesmos eventos no sono que equipamentos dedicados a tal função.

## MONITORAMENTO DA ATIVIDADE CARDÍACA

A fibrilação atrial (FA) é uma das desordens cardíacas mais prevalentes. Ela pode causar diversos sintomas, como palpitações, dor no peito, fadiga e falta de ar. A detecção da FA em seus estágios iniciais é de fundamental importância para a prevenção de danos graves ao paciente (FAVRETTO, 2009). A fotopletismografia é uma alternativa ao eletrocardiograma comum, e pode ser realizada por um *smartphone*. Por meio apenas da câmera e do *flash* é possível obter imagens dos vasos sanguíneos, após a colocação do dedo na lente do aparelho. Lee *et al.* (2017) conclui em seu trabalho que essa aplicação pode ser usada para distinguir a presença ou não de FA no indivíduo, com alta acurácia. Em seu trabalho houve a participação de 148 pacientes de um centro de cardiologia. O autor ressalta que, com uma classificação de FA baseada em aprendizagem de máquina, a acurácia pode ser aumentada ainda mais, já que o processo de aprendizagem é contínuo. Entretanto, embora a fotopletismografia dos *smartphones* possa ser usada para a medição de parâmetros, ainda não há seu uso clínico. Para que isso possa ocorrer, por exemplo nos EUA, é necessária sua aprovação pela FDA, já no Brasil, é necessária a validação pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Browne *et al.* (2020), em seu artigo, realiza testes com aplicativos de *smartphones* e com máquinas

clínicas aprovadas pela organização norte-americana citada, para poder comparar os resultados. Os autores mostram que em testes de oximetria e de medição de frequência cardíaca, a variação obtida em seus resultados está muito próxima dos padrões aceitos pela agência reguladora, e sugere que em tempos de pandemia, no qual os hospitais e postos de saúde enfrentam uma demanda muito grande de pacientes e em alguns casos há falta de equipamentos, os celulares poderiam ser um grande auxílio para os centros de saúde.

Nemcova *et al.* (2020) propõe a medição da frequência cardíaca (FC), oximetria e pressão sanguínea (PS) por meio de um *smartphone*, usando a câmera e o microfone deste aparelho. Para a FC e a oximetria, foi utilizada a fotopletismografia, que é adquirida com a câmera como descrito anteriormente. Já para a medição da OS, foram usados o tempo de trânsito do pulso (TTP), que pode ser adquirido pela fotopletismografia, e um fonocardiograma, realizado com o microfone do dispositivo. Com o propósito de validação experimental, foram realizadas 50 coletas de FC e oximetria, além de 15 coletas da PS. A estimativa dos resultados obtidos mostra, estatisticamente, que o *smartphone* pode ser usado como uma alternativa mais rápida aos aparelhos de medição convencionais usados pela medicina.

Tabei *et al.* (2020) também propõe a medição da PS por meio de *smartphones*, mas sem o uso do microfone. Em seu trabalho ele desenvolveu um algoritmo que, utilizando apenas a medição do TTP com a câmera, obtém a PS de 6 voluntários, sendo dois celulares distintos usados em cada um. As informações adquiridas pelos aparelhos celulares foram então comparadas com as informações fornecidas pelo OMRON 10, um sistema de monitoramento digital de PS. Os resultados do algoritmo apresentam uma grande correlação com a PS dos indivíduos, e está dentro dos padrões de estimativa na literatura.

Há ainda alternativas à fotopletismografia. Uma delas é com o uso do acelerômetro e giroscópio do *smartphone* para realizar a detecção de FA. Nesse método, o paciente fica deitado, com o aparelho celular em seu peito para registrar pequenos movimentos de seu tórax. As informações são coletadas de diferentes eixos, para que o algoritmo desenvolvido os analise e gere um resultado com maior acurácia. Lahdenoja *et al.* (2017) alcançou em seu estudo 97,4% de acerto na detecção, mostrando que essa técnica pode gerar um impacto positivo na área de estudo de saúde cardíaca. Em um estudo com 182 idosos como população de amostragem, Mehrang *et al.* (2019) verificou a efetividade do método proposto para detecção de FA usando um *smartphone* para a realização de uma auto-mecanocardiografia, com a frequência de aquisição de 200 Hz. Os resultados obtidos foram comparados com dados adquiridos em coletas médicas, e corroboraram a hipótese de que a mecanocardiografia pode ser usada para o diagnóstico de FA, validando a aplicação de *smartphones* neste exame.

## SMARTPHONES PARA DIAGNÓSTICOS COM BIOSSENSORES

Sistemas com biossensores para *smartphones* podem ser divididos em cinco categorias (XU *et al.*, 2018), sendo eles:

- biossensores de imagem: usados para detectar células e bactérias;
- sensores bioquímicos: usados para verificar níveis de açúcar e gordura no sangue;
- sensores moleculares: usados para detectar DNA e outras biomoléculas;
- imunobiossensores: usados para a detecção de proteínas específicas;
- biossensores híbridos: usados para a análise de diversos materiais.

Biossensores em aparelhos celulares foram naturalmente desenvolvidos para a detecção ótica, se aproveitando da alta resolução das câmeras presentes nos dispositivos. O objetivo é a construção de microscópios integrados aos *smartphones*, para a obtenção de imagens com a presença de micro-organismos e células sanguíneas (SEO *et al.*, 2019).

Com o intuito de diagnosticar a retinopatia diabética (RD) estágios iniciais, Hacısoftaoglu *et al.* (2020) desenvolveu um modelo para a detecção da RD por meio da aprendizagem profunda (do inglês, *deep learning*) com a rede neural ResNet 50. Esse método avalia diversas imagens da retina do indivíduo para gerar o resultado. O modelo atingiu um índice de acerto de 98,6%, e mostrou que o sistema com a utilização do ResNet 50 melhorou o rendimento da técnica. Embora em seu estudo tenham sido utilizadas menos imagens quando comparado com outros métodos da literatura, os resultados apresentaram uma alta acurácia.

Já os imunossensores podem substituir os sensores óticos em análises biológicas. O DNA e RNA retirados de amostras sanguíneas, patógenos ou tecidos, podem ser utilizados para um possível diagnóstico feito por biossensores (SEO *et al.*, 2019). Ainda, microRNAs são pequenas partículas de RNA que possuem um papel importante em diversos processos biológicos, e estão presentes em células cancerígenas. Elas são encontradas em vários fluidos corporais, como sangue, urina e saliva. Com compósitos de grafeno e ouro, Low *et al.* (2020) desenvolveram um imunobiossensor eletroquímico para *smartphone* capaz de detectar biomarcadores em microRNAs presentes na saliva, utilizando-se do microRNA-21 como prova de conceito. Para tal, o dispositivo se conecta com o sensor por *bluetooth*, e as informações são processadas por meio de um aplicativo desenvolvido para esse fim. Por fim, o sistema mostrou uma linearidade aceitável com relação aos padrões clínicos vigentes para a detecção de microRNA-21, ou seja, equivalente às máquinas laboratoriais.

Outro trabalho interessante, focado na medição do nível ácido úrico no sangue, foi proposto por Guo (2016). Neste trabalho o autor propôs o uso do *smartphone* com um analisador eletroquímico. Em seu trabalho, uma fita de teste para quantificação enzimática é conectada ao aparelho celular e é usada para realizar a caracterização do ácido úrico em amostras de sangue do indivíduo. Os resultados atingidos mostram uma precisão dentro dos requerimentos exigidos para diagnósticos médicos *in vitro*, e mostra potencial para o aumento de mobilidade e praticidade para a realização de testes.

Com a intenção de diminuir o tamanho e o custo de dispositivos externos, Sun *et al.* (2016) desenvolveram um protótipo-plataforma de biossensor eletroquímico. Nesse caso, utiliza-se a entrada para áudio do aparelho celular tanto para comunicação quanto para potência. Isso se torna algo

muito positivo, pois grande parte de outras tecnologias similares propostas necessitam de alguma fonte externa de energia. Os testes realizados mostram que a plataforma apresenta voltamogramas que são compatíveis com os do potenciostato de laboratório. Os autores concluíram que o aparelho pode ser usado na detecção de biomarcadores e utilizado para possíveis diagnósticos em casa, facilitando a rotina de quem necessita de auxílio remoto.

Também com o intuito de desenvolver um sensor menor, que implica em mais portabilidade, Teengam *et al.* (2020) propuseram um sensor eletroquímico operado inteiramente via comunicação por campo de proximidade (do inglês, *Near Field Communication*). O sistema é feito para a detecção de hepatite B, e é composto por um sensor de comunicação por campo de proximidade integrado com o *smartphone* e sensor de eletrodo modificado com anticorpo. São utilizados eletrodos de grafeno modificados com nanopartículas de ouro, para a obtenção de uma alta sensibilidade. O imunossensor eletroquímico quantifica a hepatite B por meio de um antígeno, HBsAg, usando detecção amperométrica. O sistema mostra uma correlação comparável aos de imunoenaios tradicionais quando testado com amostras infectadas pelo vírus da hepatite B, e apresentou-se como uma ótima plataforma para quem busca por ferramentas potáveis, simples e sensíveis, que podem ser usadas para diversas medições.

Já para a identificação de cetose diabética e cetoacidose diabética em amostras de sangue de pacientes, desenvolveu-se um analisador eletroquímico compacto com fita de teste dupla, que requer apenas uma gota de sangue para realizar a avaliação. O *design* proposto por Guo *et al.* (2018) consiste em dois canais de reação eletroquímicos, e é usado juntamente com um *smartphone*. Os testes clínicos demonstram que os dois canais analisados mostram resultados factíveis, o que faz desse sistema muito promissor para apresentar diagnósticos rápidos sem a necessidade de dois furos nos dedos do paciente, o que pode contribuir para a redução da mortalidade por diabetes devido a rápida detecção.

Huang *et al.* (2019) também desenvolveram em seu trabalho um analisador sanguíneo para aparelhos celulares com fita de teste. Naquele trabalho foi proposto um pequeno monitor de níveis sanguíneos fotoquímico para a detecção de lipídios no sangue, para que não exista a necessidade do uso de equipamentos grandes e custosos no monitoramento de doenças cardiovasculares. Além disso, com esta nova abordagem, necessita apenas de uma gota de sangue do paciente. No protótipo, o *smartphone* é usado como fonte de energia e a transferência de dados é feita via cabo USB. Uma gota da amostra é colocada na fita e por meio das intensidades das cores, e seus coeficientes de reflexão, são mostradas as concentrações de lipídios. Nos testes, são medidos os níveis de triglicerídeos e colesterol no sangue, e os resultados apresentam uma alta correlação com aqueles obtidos por um analisador bioquímico clínico. Demonstra-se acurácia alta, confiabilidade e reprodutividade no diagnóstico, tornando-se uma tecnologia promissora para o futuro.

Para conseguir realizar a detecção de malária em manchas de sangue espessas com o uso de *smartphones*, Yang *et al.* (2019) desenvolveram em seu trabalho um método de aprendizagem de máquina, para ser utilizado no aparelho celular, capaz de detectar parasitas da malária em imagens

de sangue sem a necessidade de equipamentos sofisticados. Primeiro o *software* verifica rapidamente possíveis parasitas, baseando-se na intensidade da cor, e em seguida, analisa se o alvo é realmente o causador da doença ou apenas parte da amostra de sangue. Foram utilizadas 1819 imagens de sangue de 150 pacientes diferentes disponíveis para a realização do treino e dos testes para o método. Attingiu-se uma acurácia da verificação de malária no sangue de 93,46%. A alta correlação dos resultados obtidos com a presença da doença demonstra a praticidade e potencialidade do método.

## DISCUSSÃO

É fato que o avanço tecnológico no âmbito de *smartphones* permite o desenvolvimento de diversos novos *softwares* e dispositivos para serem usados em qualquer área, como a biomédica. Porém, para que se possa utilizar dessas ferramentas fora da área acadêmica, ou seja, clinicamente, é necessário que o desempenho apresentado pelos dispositivos seja equivalente aos dispositivos clínicos e que sejam devidamente validados, já que, conforme dito por Bindhim e Trevena (2015), aplicativos são regulados pela FDA e outras agências utilizando-se das mesmas normas usadas para dispositivos médicos em geral.

Para que, no Brasil, possa-se receber aprovação do órgão regulador, a ANVISA, é imprescindível que qualquer produto para a saúde receba o registro do Ministério da Saúde. Embora existam normas que discorram sobre produtos destinados à saúde, como a RDC 185 e a RDC 56, ambas de 2001, e que dizem respeito às práticas de fabricação, como a RDC 16 de 2013, não existe regulação específica para o registro de aplicativos e softwares. Por isso, o desempenho da precisão e acurácia dos dados apresentados por *smartphones* nesse âmbito devem ser minuciosamente analisados, e, em alguns casos, melhorados, como no trabalho de Orr *et al.* (2015), comentado na seção “monitoramento de atividades físicas”, no qual foram encontrados resultados inconsistentes pelos aplicativos utilizados. Outro grande empecilho para a validação do uso de aplicativos médicos é a necessidade de calibração e verificação dos mesmos, principalmente aqueles que são desenvolvidos para que o usuário o utilize sem o acompanhamento de profissionais médicos.

Parte desse problema poderá ser resolvido nos próximos anos, partindo-se do pressuposto que os aparelhos celulares receberão cada vez mais melhoramentos. Com isso, apresentarão maior capacidade de armazenamento e processamento de dados, câmeras com melhor resolução e aperfeiçoamento de seus sensores, como acelerômetros, giroscópios e sensores de luz. Já por meio do crescente aumento na capacidade de armazenamento e velocidade de processamento, será possível embarcar algoritmos de inteligência artificial mais complexos, que apresentam maior fator de aprendizagem, uma vez que esses algoritmos, geralmente, requerem um custo computacional mais elevado que os algoritmos tradicionais. Já com o incremento do armazenamento da máquina, permite-se reter um maior número de informações para a análise e para a realização da aprendizagem de máquina por mais tempo.

O aumento da qualidade das imagens captadas pelos *smartphones*, aliada a presença de múltiplas câmeras, também mostram possíveis avanços nos resultados. Com a possibilidade de maiores resoluções nas fotos, aplicações como as de Lee *et al.* (2017) e Nemcova *et al.* (2020), que realizam o exame de fotopletismografia, e Tabei *et al.* (2020), que busca encontrar a PS, tendem a ser mais precisas e apresentar valores mais fidedignos, aumentando a eficácia de seus produtos. O maior número das câmeras, que têm sido uma tendência no mercado recente de *smartphones*, como no *Samsung Galaxy S20* e no *IPhone 12*, permite a comparação entre diferentes imagens para eliminar possíveis artefatos de movimento, elevando assim a precisão dos métodos propostos.

Embora alguns modelos de celulares presentes no mercado atual apresentem um valor elevado, principalmente os mais modernos, a tendência é que ele diminua com o passar dos anos, como ocorre com qualquer tecnologia. Modelos que há poucos anos eram adquiridos por poucos usuários, hoje em dia são considerados como modelos populares, devido à redução de seu custo. Com isso, mais indivíduos terão acesso a dispositivos que poderão com a capacidade de execução das tecnologias em prol da saúde em bem-estar do usuário. Porém, deve-se ressaltar que, embora a tecnologia empregada na construção de novos aparelhos celulares apresente uma grande tendência a ser aprimorada cada vez mais, ela jamais será equivalente a dispositivos eletromédicos desenvolvidos especificamente para esse propósito, visto que os sensores dos *smartphones* são de menor qualidade, para que as empresas mantenham o menor custo possível do aparelho.

Desse modo, o movimento *mHealth*, que apresenta promissora popularidade no meio científico, pode se fazer valer por um de seus principais fatores positivos, que é elevar a qualidade de vida das pessoas. Isso pode ocorrer tanto por facilitar o acesso a tratamentos e diagnósticos às pessoas que moram em localidades remotas ou longe dos grandes centros, onde o atendimento pode demorar muito, quanto por tornar equipamentos médicos menores e mais baratos. Essas mudanças nas ferramentas clínicas podem beneficiar não apenas médicos e outros profissionais da saúde, que poderão ter melhores condições de exercerem seus trabalhos, mas também cidadãos em geral, os quais terão a oportunidade de realizar alguns procedimentos e intervenções por conta própria.

Apesar de que exista cada vez mais a possibilidade da realização de autodiagnósticos ou automedicação, a presença de um profissional clínico jamais poderá ser substituída. As novas tecnologias foram e continuarão sendo desenvolvidas com a intenção de auxiliar os trabalhadores responsáveis a contribuir mais para a saúde e bem-estar da humanidade. Do contrário, podem ser gerados muitos erros graves e agravamento de problemas de saúde que possam existir.

## CONCLUSÃO

*Smartphones* são amplamente utilizados em diversas atividades do cotidiano, por isso o movimento *mHealth* despertou o interesse da comunidade científica, que busca diferentes maneiras de

coletar informações e monitorar parâmetros biomédicos. Estes dispositivos têm mostrado desempenhos aceitáveis para análise de dados em aplicações biomédicas tais como na realização de atividades físicas, durante o sono e monitoramento da atividade cardíaca. Também têm apresentado elevada viabilidade de operação em associação com outros sensores, ou seja, apresenta alta compatibilidade para fusão sensorial. Dentre os trabalhos discutidos, os resultados obtidos pelos pesquisadores mostram-se, em sua maioria, semelhantes aos de equipamentos clínicos utilizados no tratamento e diagnóstico de doenças, o que torna os *smartphones* uma grande e promissora alternativa aos equipamentos convencionais, que tendem a ser mais custosos, grandes e difíceis de se utilizar. Entretanto, tais dispositivos ainda carecem de devida certificação para uso seguro e credibilidade. Como o avanço da tecnologia pode, nos próximos anos, tornar essas medições ainda mais acuradas e prover análises mais eficientes, há uma grande expectativa da regularização de tais dispositivos, com a criação de normas específicas para validação de resultados e diagnósticos providos por tais ferramentas. Os benefícios dessa evolução atingem primariamente os pacientes que utilizam tais ferramentas, mas também são vantajosos aos profissionais da saúde, pois complementam suas análises, além de auxiliar familiares e cuidadores, antecipando possíveis condições que requeiram atenção especial. Como investigação futura, pretende-se analisar a integração de aplicativos à sensores vestíveis, bem como a fusão sensorial dos sensores externos com os sensores dos *smartphones*, além dos protocolos de comunicação para alcançar tal integração.

## REFERÊNCIAS

ALEDAVOOD, T., TOROUS, J., HOYOS, A. M. T., NASLUND, J. A., ONNELA, J. P., KESHAVAN, M.. Smartphone-based tracking of sleep in depression, anxiety, and psychotic disorders. **Current psychiatry reports**, v. 21, n. 7, p. 49, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3vDuzhZ>.

BARBOSA, B., CHKONIYA, V., SOMOES, D., FILIPE, S., & SANTOS, C. A. Sempre ligados: Utilização dos smartphones pela geração Y e capital social. **Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, n. E35, p. 152-166, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3qbFePB>.

BINDHIM, N. F., TREVENA, L.. Health-related smartphone apps: regulations, safety, privacy and quality. **BMJ Innov**, v. 1, n. 2, p. 43-45, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3xzspaz>.

BROWNE, S. H., BERNSTEIN, M., PAN, S. C., GARCIA, J. G., EASSON, C. A., HUANG, C. C., VAIDA, F.. Maxim Integrated Smartphone Sensor with App Meets FDA/IS Standards for Clinical Pulse Oximetry and can be Reliably Utilized by a Wide Range of Patients. **Chest**, “no prelo”. Disponível em: <https://bit.ly/3zDK2Sn>.

CASE, M. A., BURWICK, H. A., VOLPP, K. G., PATEL, M. S. Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data. **Jama**, v. 313, n. 6, p. 625-626, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3zB5k2K>.

CORNET, V. P., HOLDEN, R. J. Systematic review of smartphone-based passive sensing for health and wellbeing. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 77, p. 120-132, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3vAJCZt>.

CREAGH, A. P., SIMILLION, C., BOURKE, A., SCOTLAND, A., LIPSMEIER, F., BERNASCONI, C., VAN BEEK, J. BAKER, M. GOSENS C. LINDERMANN M., DE VOS, M. Smartphone-and Smartwatch-Based Remote Characterisation of Ambulation in Multiple Sclerosis during the Two-Minute Walk Test. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, “no prelo”. Disponível em: <https://bit.ly/2Se9TiU>.

FAVRETTO, Giovanni Enrico Dias. **Estudo de casos de fibrilação atrial do Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina**. 2009. Disponível em: <https://bit.ly/3iPeKlt>.

FERRER-LLUIS, I., CASTILLO-ESCARIO, Y., MONTSERRAT, J. M., & JANÉ, R.. Analysis of Smartphone Triaxial Accelerometry for Monitoring Sleep-Disordered Breathing and Sleep Position at Home. **IEEE Access**, v. 8, p. 71231-71244, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3gGdbDL>.

FUKAZAWA, Y., ITO, T., OKIMURA, T., YAMASHITA, Y., MAEDA, T., & OTA, J. Predicting anxiety state using smartphone-based passive sensing. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 93, p. 103151, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/35wVf9t>.

GAN, S. KE., POON, J. K. The world of biomedical apps: their uses, limitations, and potential. **Scientific Phone Apps and Mobile Devices**, v. 2, n. 1, p. 6, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3wEjs9L>.

GUO, J. Uric acid monitoring with a smartphone as the electrochemical analyzer. **Analytical chemistry**, v. 88, n. 24, p. 11986-11989, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3gCoH4f>.

GUO, J., HUANG, X., MA, X.. Clinical identification of diabetic ketosis/diabetic ketoacidosis acid by electrochemical dual channel test strip with medical smartphone. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 275, p. 446-450, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3vxuGvi>.

HACISOFTAOGLU, R. E., KARAKAYA, M., SALLAM, A. B.. Deep Learning Frameworks for Diabetic Retinopathy Detection with Smartphone-based Retinal Imaging Systems. **Pattern Recognition Letters**, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3gMcV5U>.

HEKLER, E. B., BUMAN, M. P., GRIECO, L., ROSENBERGER, M., WINTER, S. J., HASKELL, W., KING, A. C. Validation of physical activity tracking via android smartphones compared to ActiGraph accelerometer: laboratory-based and free-living validation studies. **JMIR mHealth and uHealth**, v. 3, n. 2, p. e36, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3cQMzPi>.

HUANG, X., LI, Y., CHEN, J., LIU, J., WANG, R., XU, X., YAO, J., GUO, J.. Smartphone based blood lipid data acquisition for cardiovascular disease management in internet of medical things. **IEEE Access**, v. 7, p. 75276-75283, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3xuC2V>.

LAHDENOJA, O., HURNANEN, T., IFTIKHAR, Z., NIEMINEM, S., KNUUTILA, T., SARASTE, A., KIVINIEMI, T. VASANKARI, T. AIRAKSINEN, J. PANKAALA, M. KOIVISTO, T. Atrial fibrillation detection via accelerometer and gyroscope of a smartphone. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 22, n. 1, p. 108-118, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/35wKST9>.

LEE, K., CHOI, H. O., MIN, S. D., LEE, J., GUPTA, B. B., NAM, Y. A comparative evaluation of atrial fibrillation detection methods in Koreans based on optical recordings using a smartphone. **IEEE Access**, v. 5, p. 11437-11443, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2TKFFnM>.

LI, P., WANG, Y., TIAN, Y., ZHOU, T. S., LI, J. S. An automatic user-adapted physical activity classification method using smartphones. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 64, n. 3, p. 706-714, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3gK8gS1>.

LOW, S. S., PAN, Y., JI, D., LI, Y., LU, Y., HE, Y., CHEN, Q., LIU, Q.. Smartphone-based portable electrochemical biosensing system for detection of circulating microRNA-21 in saliva as a proof-of-concept. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 308, p. 127718, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/2UfmyCO>.

MAJUNDER, S.; DEEN, M. J. Smartphone Sensors for Health Monitoring and Diagnosis. **Sensors**, v. 19, n. 9, p. 2164, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3gEA77i>.

MEHRANG, S., TADI, M. J., HURNANEN, T., KNUUTILA, T., LAHDENOJA, O., JAAKKOLA, J., JAAKKOLA, S., VASANKARI, T., KIVINIEMI, T., AIRAKSINEN, J., KOIVISTO, T. Reliability of Self-Applied Smartphone Mechanocardiography for Atrial Fibrillation Detection. **IEEE Access**, v. 7, p. 146801-146812, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3gCrtGF>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº 56 de 6 de abril de 2001**. Disponível em: <https://bit.ly/3gKDMPU>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº 185 de 22 de outubro de 2001**. Disponível em: <https://bit.ly/3gIQEGf>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **RDC nº 16 de 28 de março de 2013**. Disponível em: <https://bit.ly/3vCCxIa>.

NEMCOVA, A., JORDANOVA, I., VARECKA, M., SMISEK, R., MARSANOVA, L., SMITAL, L., VITEK, M. Monitoring of heart rate, blood oxygen saturation, and blood pressure using a smartphone. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 59, p. 101928, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3cTHjdB>.

OLESON, Mark A.; KOVACH, F. Grant. Method and arrangement for monitoring physiological data. **U.S. Patent n. 9,621,684**, 11 abr. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3xxEPJI>.

ORR, K., HOWE, H. S., OMRAN, J., SMITH, K. A., PALMATEER, T. M., MA, A. E., FAULKNER, G. Validity of smartphone pedometer applications. **BMC Research Notes**, v. 8, n. 1, p. 733, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3zDxEBO>.

SEO, S. E., TABELI, F., PARK, S. J., ASKARIN, B., KIM, K. H., MOALLEM, G., CHONG, J. W., KWON, O. S.. Smartphone with optical, physical, and electrochemical nanobiosensors. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 77, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/35B6zkl>.

SUN, A. C., YAO, C., VENKATESH, A. G., HALL, D. A. An efficient power harvesting mobile phone-based electrochemical biosensor for point-of-care health monitoring. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 235, p. 126-135, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3vMHgal>.

TABEI, F., GRESHAM, J. M., ASKARIAN, B., JUNG, K., CHONG, J. W.. Cuff-Less Blood Pressure Monitoring System Using Smartphones. **IEEE Access**, v. 8, p. 11534-11545, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/2SAUEAP>.

TEENGAM, P, SIANGPROH, W., TONTISIRIN, S., JIRASEREE-AMORNKUN, A., CHUAYPEN, N., TANGKIJVANICH, P., HENRY, C., NGAMROJANAVANICH, N., CHAILAPAKULI, O. NFC-enabling smartphone-based portable amperometric immunosensor for hepatitis B virus detection. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 326, p. 128825, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3gLj6Hp>.

VERZANI, R. H., & SERAPIÃO, A. B. de S. Aplicativos de smartphones e atividades físicas: contribuições e limitações. **Pensar a Prática**, v. 23, p. e59569, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3zzg0yV>.

WRIGHT, S. P., HALL BROWN, T. S., COLLIER, S. R., SANDBERG, K. How consumer physical activity monitors could transform human physiology research. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 312, n. 3, p. R358-R367, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3wR0Y69>.

XU, D., HUANG, X., GUO, J., MA, X. Automatic smartphone-based microfluidic biosensor system at the point of care. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 110, p. 78-88, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2Ugy8gZ>.

YANG, F., POOSTCHI, M., YU, H., ZHOU, Z., SILAMUT, K., YU, J., MAUDE, R., JAEGER, S., ANTANI, S. Deep learning for smartphone-based malaria parasite detection in thick blood smears. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 24, n. 5, p. 1427- 1438, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3cRMwCK>.

