

SUBMETIDO 12/07/2021

APROVADO 04/11/2021

PUBLICADO ON-LINE 14/11/2021

PUBLICADO 30/03/2023

EDITOR ASSOCIADO

Ademar Gonçalves da Costa Junior

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6171>

ARTIGO ORIGINAL

Tecnologias vestíveis para monitoramento de pacientes com COVID-19 em cuidados domiciliares: revisão sistemática

 Leonardo Giannine Teixeira ^{[1]*}

 Pedro Bertemes-Filho ^[2]

[1] leonardo.teixeira@edu.udesc.br

[2] pedro.bertemes@udesc.br

Departamento de Engenharia Elétrica /
Universidade do Estado de Santa Catarina
(UDESC), Brasil

RESUMO: Os sensores vestíveis são uma tecnologia emergente para monitorar sinais vitais, tendo a vantagem de reduzir o desconforto e interferir amigavelmente nas atividades diárias de qualquer paciente. O foco deste artigo é revisar as tecnologias vestíveis publicadas usadas para monitorar sinais biomédicos em pacientes infectados por coronavírus. Seis tipos diferentes de mecanismos de busca foram utilizados. Os artigos foram selecionados e validados por meio dos critérios da ferramenta AMSTAR 2, a fim de verificar a qualidade desta revisão. Foram selecionados 21 artigos, publicados no período temporal de 2016 a 2021, e tabulados de acordo com o tipo de tecnologia, abordagem de processamento e sinais monitorados. Os artigos selecionados são amplamente discutidos com base na aplicabilidade, eficácia e desafios da tecnologia para o acompanhamento domiciliar. Este artigo chama a atenção para a necessidade de mais investimentos em biossensores vestíveis para monitoramento domiciliar, principalmente devido ao atual cenário pandêmico. Pode-se concluir que os sensores do tipo *homecare* necessitam de mais investigações em termos de sua eficiência em relação às abordagens padrão ouro de monitoramento domiciliar de pacientes com COVID-19.

Palavras-chave: biossensores; epidemia; monitoramento remoto; sinais vitais; tecnologias vestíveis.

Wearable homecare technologies for monitoring patients with COVID-19: systematic review

ABSTRACT: *Wearable sensors are an emerging technology for monitoring vital signals, having the advantage of reducing patients' discomfort and being a friendly interference during their daily activities. The focus of this article is to revise published wearable technologies used for monitoring biomedical signals in patients infected with coronavirus. Six different types of search engines were*

*Autor para correspondência.

used. Articles were selected and validated using AMSTAR criteria tool in order to verify the quality of this review. 21 articles published between 2016 and 2021 were selected, and tabulated according to the technology type, processing approach and signals monitored. In this research, the articles mentioned are presented, and a comprehensive discussion brings their applicability, effectiveness and challenges for home care monitoring. This article emphasizes the need for more investments in wearable biosensors for home care monitoring, especially due to the current pandemic scenario. The findings suggest that home care type sensors require more investigations in terms of its efficiency compared to gold standard approaches for monitoring COVID-19 patients at home.

Keywords: biosensors; epidemic; remote monitoring; vital signs; wearable technology.

1 Introdução

Desde a descoberta do novo coronavírus SARS-CoV-2 (COVID-19), o mundo passa por uma situação crítica. A Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou emergência de saúde pública em janeiro de 2020 e caracterizou uma pandemia em março do mesmo ano. Mesmo com o advento das vacinas no final de 2020, o número de casos e mortes relacionados ao coronavírus ainda aumenta em boa parte do mundo (ISLAM *et al.*, 2020; WHO, 2021).

Uma nova variante do vírus tem circulado desde o início de 2021, causando sintomas mais graves em indivíduos jovens e sem comorbidades, diferentemente da anterior, cujos casos críticos eram representados pela população idosa ou por indivíduos com doenças preexistentes. Esse novo cenário causou um novo colapso nos sistemas de saúde de todo o mundo, com hospitais superlotados, falta de equipamentos de proteção individual, ausência de tubos de oxigênio, entre outras (WHO, 2021).

Com a vacinação ainda precoce em boa parte do mundo e prevenindo-se contra futuras pandemias, os esforços devem ser concentrados na prevenção da propagação do vírus. As tecnologias vestíveis, que podem coletar uma grande variedade de sinais vitais, ajudam em grande medida na prevenção da disseminação do coronavírus (DING *et al.*, 2020). Exemplo disso é a possibilidade de, durante a quarentena ou período de autotratamento, o paciente ser monitorado por um médico com a ajuda dessas tecnologias, diminuindo o risco de infecção nos ambientes hospitalares (ISLAM; RAHAMAN; ISLAM, 2020).

Recentemente, artigos de revisões sobre tecnologias vestíveis foram publicados, observando-se suas diversas aplicações, como, por exemplo, para monitoramento de sinais vitais de pacientes em epidemias (MOHAMMADZADEH *et al.*, 2020), para o monitoramento e prevenção de doenças não transmissíveis (KRISTOFFERSSON; LINDÉN, 2020), para o monitoramento de sinais vitais e auxílio, sem contato, na oxigenação de pacientes (ISLAM *et al.*, 2020), para a prevenção e o controle da COVID-19 (DONG; YAO, 2021), para o monitoramento de inflamação de citocinas (CAMPUZANO; YÁÑEZ-SEDEÑO; PINGARRÓN, 2021) e para o monitoramento remoto de pacientes pós-cirúrgicos (RESTREPO *et al.*, 2021).

O artigo de revisão aqui proposto tem como objetivo principal levantar as tecnologias vestíveis recentemente utilizadas para o monitoramento de sinais vitais importantes em indivíduos com síndromes respiratórias agudas graves (SARS). Como objetivo específico, este artigo descreve como essas tecnologias podem auxiliar no combate da pandemia da COVID-19, no aspecto do monitoramento de pacientes em cuidados domiciliares,

diminuindo, assim, o fluxo de pacientes nos hospitais, possibilitando ações mais rápidas e assertivas pelos especialistas em casos de complicações.

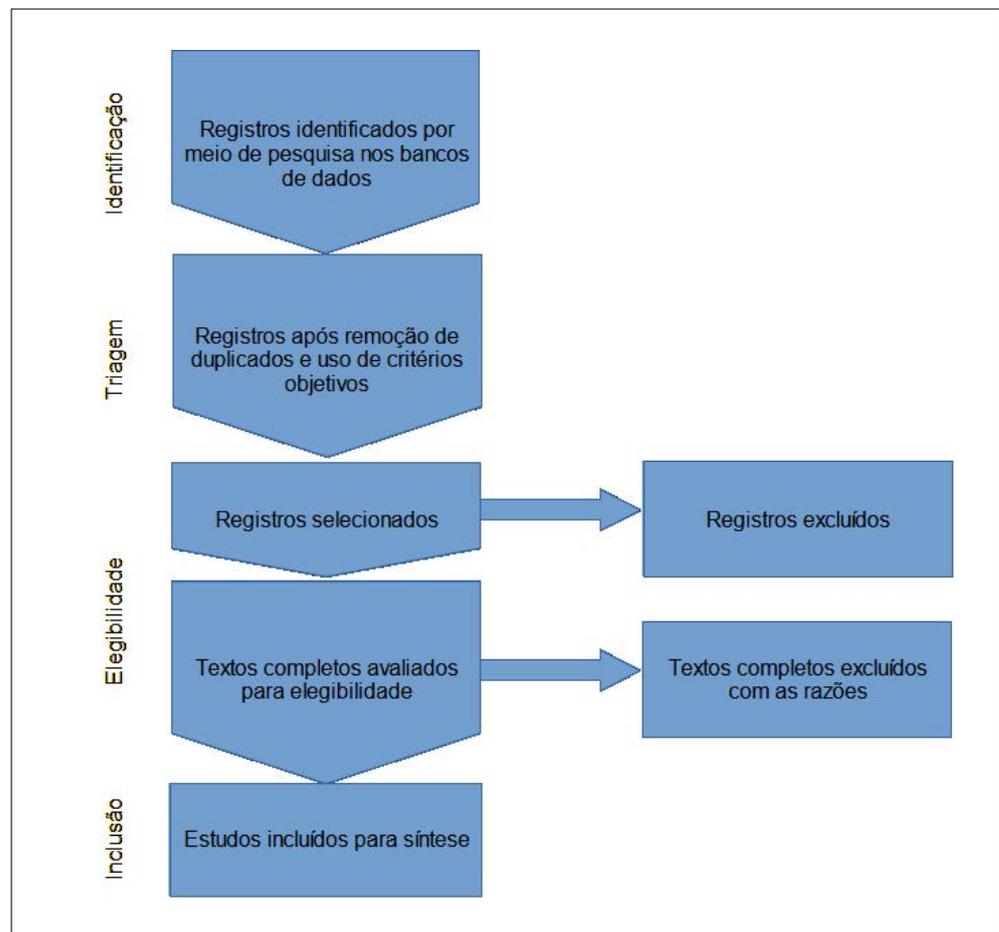
Por se tratar de uma revisão de literatura sistemática, todos os dispositivos dos artigos selecionados serão apresentados em termos de tipos de serviço, funcionalidades, vantagens e desvantagens, além dos desafios enfrentados pelos sistemas existentes e discussão de trabalhos potenciais futuros.

Na sequência, serão apresentados os métodos utilizados na busca dos artigos para a realização desta revisão sistemática, indicando os critérios de inclusão e exclusão. Em seguida, serão mostrados e discutidos os resultados obtidos pelos autores e, por fim, uma síntese conclusiva será apresentada.

2 Métodos

O protocolo proposto para realização da revisão sistemática é baseado no método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (MOHER *et al.*, 2009). Esse método consiste em uma lista de verificação de 27 itens e de um diagrama de fluxo de 4 fases, como ilustrado na Figura 1. Esse método, contudo, não é um instrumento de avaliação de qualidade de revisões sistemáticas. Para tal avaliação, os critérios apresentados pela ferramenta AMSTAR 2 foram utilizados. Essa ferramenta, por meio de 16 critérios, sendo 7 críticos, realiza a avaliação crítica de revisões sistemáticas que incluem estudos randomizados e/ou não randomizados de intervenções de saúde (SHEA *et al.*, 2017).

Figura 1 ►
Diagrama de fluxo das fases do método PRISMA.
Fonte: adaptado de Moher *et al.* (2009)



2.1 Pesquisa de literatura

Nesta revisão, foram realizadas pesquisas, durante um mês, para identificar estudos relevantes publicados nos últimos cinco anos (de janeiro de 2017 a 11 de maio de 2021), em seis mecanismos de busca: PubMed, MDPI, IEEE Library, Springer Link, Science Direct e Google Acadêmico. A escolha dos mecanismos justifica-se por uma pesquisa prévia, selecionando-se, para este estudo, seis artigos, por serem os que retornaram maiores resultados na área de tecnologias para engenharia biomédica.

A estratégia de pesquisa utilizada foi a combinação de palavras-chave e *mesh terms* relacionados a sensores vestíveis, monitoramento de pacientes, doenças e *homecare*; foram excluídos os que tratavam de diagnóstico e detecção, pois não faziam parte do escopo desta produção.

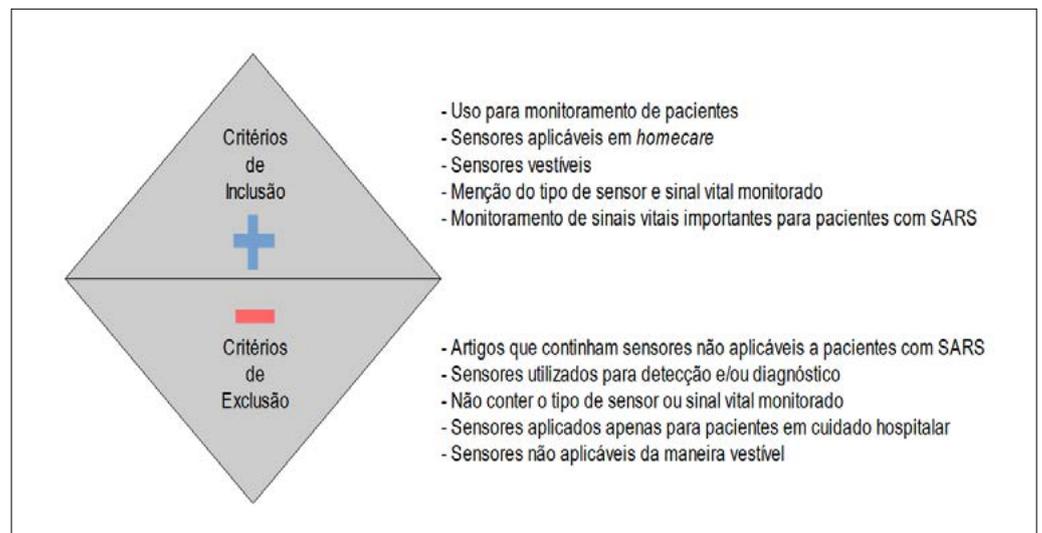
2.2 Critérios de inclusão e exclusão

Os estudos encontrados passam por um processo de triagem, a partir de critérios objetivos, utilizando-se filtros dos mecanismos de busca e remoção de duplicados, com o auxílio do programa EndNote. Os critérios objetivos são:

- Artigos de periódicos;
- Idioma inglês;
- Período de publicação a partir de 2017.

A partir dos critérios de inclusão e exclusão subjetivos exibidos na Figura 2, os artigos acadêmicos remanescentes foram selecionados e analisados.

Figura 2 ►
Critérios subjetivos de inclusão e exclusão para seleção dos artigos elegíveis.
Fonte: elaborada pelos autores



2.3 Extração de dados

Na pesquisa científica, após a triagem, os artigos restantes passam por análise, a partir do seu título e resumo, excluindo-se os trabalhos que não atendem a todos os critérios de inclusão ou apresentam pelo menos um critério de exclusão. Em caso de dúvida, o artigo permanece, para a próxima fase de análise.

Após essa primeira filtragem, os artigos são lidos por completo. Nessa fase, são excluídos os artigos de qualquer tipo de revisão, e os dados são extraídos e sintetizados de cada artigo, conforme Quadro 1. Os artigos que não apresentam todos os critérios de inclusão são descartados. Em caso de dúvida, nessa fase o artigo é apresentado para o professor orientador para a análise e a decisão final. O Quadro 1 preenchido é validado pelo professor orientador antes do começo da escrita do artigo de revisão.

Quadro 1 ▶

Tabela de extração e síntese de dados dos artigos selecionados.

Fonte: elaborado pelos autores

Especificações/características		Dados extraídos
Detalhes de publicação	Ano	
	País	
	Autores	
Classificações principais	Sensor/tecnologia	
	Sinal vital monitorado	
	Abordagem	

3 Resultados

Quadro 2 ▼

Estratégia de pesquisa para cada mecanismo de busca.

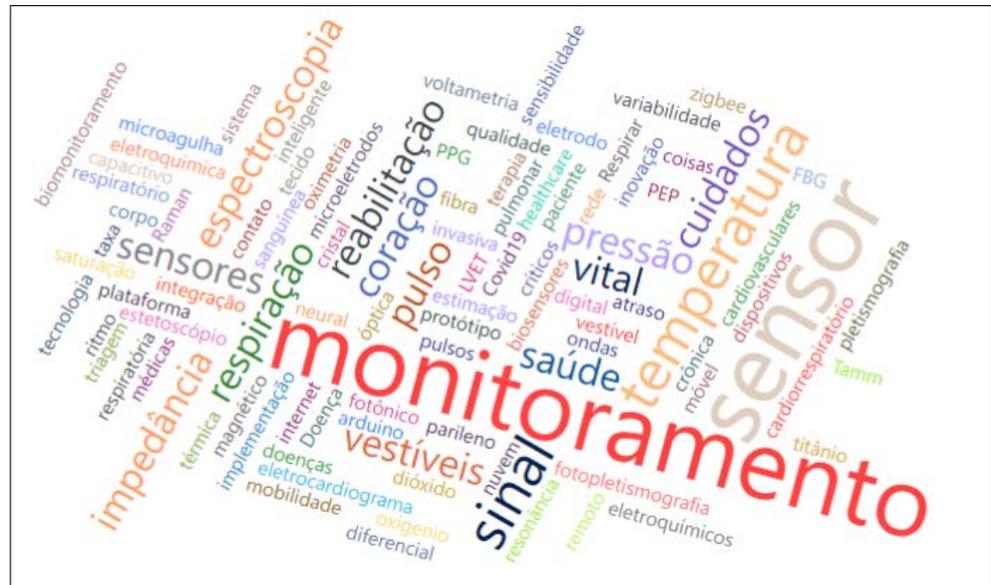
Fonte: dados da pesquisa

A construção da frase de busca foi baseada no método de fraseamento PICO (*patient, intervention, comparison e output*) e aplicada a todos os campos de pesquisa disponíveis nos mecanismos de busca utilizados. As frases utilizadas e variações das palavras-chave em cada mecanismo de busca são apresentadas no Quadro 2.

Mecanismo de Busca	Frase de busca	Resultados
Pubmed	(((((("biomedical"[All Fields] OR "biomedically"[All Fields] OR ("biosensing techniques"[MeSH Terms] OR ("biosensing"[All Fields] AND "techniques"[All Fields]) OR "biosensing techniques"[All Fields] OR "biosensor"[All Fields] OR "biosensors"[All Fields] OR "biosensor s"[All Fields] OR "biosensoric"[All Fields] OR "biosensorics"[All Fields])) AND ("wearability"[All Fields] OR "wearable"[All Fields] OR "wearables"[All Fields]) AND ("monitor s"[All Fields] OR "monitorable"[All Fields] OR "monitored"[All Fields] OR "monitoring"[All Fields] OR "monitoring s"[All Fields] OR "monitoring, physiologic"[MeSH Terms] OR ("monitoring"[All Fields] AND "physiologic"[All Fields]) OR "physiologic monitoring"[All Fields] OR "monitor"[All Fields] OR "monitorings"[All Fields] OR "monitorization"[All Fields] OR "monitorize"[All Fields] OR "monitorized"[All Fields] OR "monitors"[All Fields]) AND ("disease"[MeSH Terms] OR "disease"[All Fields] OR "diseases"[All Fields] OR "disease s"[All Fields] OR "diseased"[All Fields])) NOT ("detect"[All Fields] OR "detectabilities"[All Fields] OR "detectability"[All Fields] OR "detectable"[All Fields] OR "detectables"[All Fields] OR "detectably"[All Fields] OR "detected"[All Fields] OR "detectible"[All Fields] OR "detecting"[All Fields] OR "detection"[All Fields] OR "detections"[All Fields] OR "detects"[All Fields])) NOT ("diagnosable"[All Fields] OR "diagnosi"[All Fields] OR "diagnosis"[MeSH Terms] OR "diagnosis"[All Fields] OR "diagnose"[All Fields] OR "diagnosed"[All Fields] OR "diagnoses"[All Fields] OR "diagnosing"[All Fields] OR "diagnosis"[MeSH Subheading]))	71
MDPI	((biomedical) OR (biosensor)) AND (Monitoring) AND (Wearable) AND (disease) AND (homecare)	56
IEEE Library	((("All Metadata":biomedical) OR ("All Metadata":biosensor)) AND ("All Metadata":monitoring) AND ("All Metadata":wearable) AND ("All Metadata":disease) AND ("All Metadata":home) NOT ("All Metadata":diagnosis) NOT ("All Metadata":detection)	83
Springer Link	'biosensor AND wearable AND monitoring AND disease AND NOT (detection AND diagnosis)'	132
Science Direct	biomedical AND monitoring AND wearable AND home AND disease	438
Google Acadêmico	((biomedical) OR (biosensor)) AND (Monitoring) AND (Wearable) AND (disease) AND (homecare) NOT (diagnosis) NOT (detection)	1650

Na primeira fase, a de identificação, a pesquisa encontrou 2.430 artigos, os quais passaram pelo processo de triagem, com base nos critérios objetivos e remoção de duplicados. Após essa fase, restaram 306 artigos, que foram analisados a partir dos critérios subjetivos, pelo pesquisador menos experiente. No primeiro momento, a análise foi realizada apenas em cima dos títulos e resumos dos artigos para, posteriormente, os 44 artigos restantes serem lidos por completo. Nessa fase de elegibilidade, os artigos de qualquer tipo de revisão foram excluídos. Sobraram 21 artigos para a última fase, a de inclusão. Os dados foram extraídos e sintetizados para cada trabalho (Anexo A), analisados e validados pelo professor orientador. As palavras-chave utilizadas nos artigos selecionados são apresentadas pela nuvem de palavras, conforme Figura 3, em que o tamanho da fonte é diretamente proporcional à quantidade de vezes que a palavra se repete entre os trabalhos.

Figura 3 ►
Palavras-chave dos artigos selecionados.
Fonte: dados da pesquisa



Com o intuito de pesquisar mais artigos e dados para análise, foi feita uma pesquisa adicional nas referências dos artigos selecionados na fase de elegibilidade. Não foram realizadas inserções de novos trabalhos, pois não atendiam aos critérios objetivos de data de publicação (após 2017) e/ou de qualidade (pertencer a periódicos).

4 Discussão

A pesquisa aponta que o uso de sensores vestíveis, atuadores e tecnologias modernas de informação e comunicação tem potencial para monitorar os sinais vitais fisiológicos de pacientes em surtos epidêmicos, como o da COVID-19. O uso dessas tecnologias oferece uma solução eficiente e econômica para o monitoramento remoto, importante em um cenário de doenças transmissíveis (MAJUMDER; MONDAL; DEEN, 2017). O objetivo principal desta revisão foi identificar e analisar o uso de tecnologias vestíveis para o monitoramento de pacientes, em *homecare*, infectados pelo coronavírus.

De acordo com os estudos, os sensores vestíveis inteligentes são projetados para monitorar pacientes em uma variedade de epidemias, como ebola, COVID-19 e influenza (MOHAMMADZADEH *et al.*, 2020). A frequência cardíaca, a pressão arterial, a taxa de respiração, a saturação de oxigênio no sangue e a temperatura corporal são

sinais vitais valiosos para monitorar os pacientes e identificar deterioração clínica (DIAS; CUNHA, 2018).

Contrariando as expectativas da pesquisa de encontrar um grande número de artigos de desenvolvimento de novos biossensores vestíveis para monitorar os sinais vitais, poucos trabalhos exploram essa área, enquanto outros estudos utilizam-se de sensores comerciais em rede e de inteligência artificial para o controle das condições de pacientes. Dado o alto custo de fabricação de sensores, pode-se argumentar que uma das principais razões para o baixo número de estudos nesse campo é a falta de financiamento para a construção de sensores e de redes corporais (DIAS; CUNHA, 2018).

Os estudos incluídos nesta revisão indicam que, para o monitoramento de pacientes a distância, de forma eficaz, na maioria das vezes é necessário o controle de mais de um sinal vital, de forma contínua. Os sinais monitorados apresentados nos artigos selecionados foram: saturação de oxigênio no sangue, frequência respiratória, frequência cardíaca, pressão arterial e temperatura corporal, além do biomarcador IL-6, citocina pró-inflamatória produzida pelas células de defesa que participa da resposta imune contra diversos patógenos. As tecnologias mais utilizadas são os sensores ópticos; mas também foram encontrados trabalhos utilizando espectroscopia, microeletrodos minimamente invasivos, sensores térmicos, piezorresistivos, entre outros. Medidas de eficácia desses sensores para o controle da disseminação da COVID-19, ou de qualquer outra doença transmissível, não são, contudo, evidenciadas nesses escritos.

Trabalhos para a medição da saturação de oxigênio no sangue apresentam tanto soluções com fibras ópticas integradas com sensores de pressão, para aumentar a precisão da medida e não sofrer influência da temperatura (LIU *et al.*, 2018), quanto comparações entre os oxímetros utilizados nos *smartphones* e os utilizados em unidades de tratamento intensivo (TEO, 2020). Outros trabalhos utilizam sensores de rede de Bragg, para medir a pressão de contato, a qual influencia, de forma direta, a medida de saturação de oxigênio; contudo, ainda se necessita de um estudo maior para ajustar seu uso e incorporar em tecnologias vestíveis (LIU *et al.*, 2018). Os sensores encontrados nos oxímetros dos *smartphones* apresentaram correlações de 96% a 99% com os oxímetros tradicionais, quando o nível de saturação está acima de 90%, ou seja, para pacientes saudáveis (níveis acima de 95%), oxímetros encontrados nos celulares demonstram eficácia (TEO, 2020).

Outro sinal biomédico muito monitorado é a frequência respiratória, seja utilizando sensores ópticos para detectar o movimento de tórax e abdômen (ISSATAYEVA *et al.*, 2020), seja por meio de sensores piezorresistivos, medindo a tensão local da caixa torácica (CHU *et al.*, 2019), seja por um colete com detecção capacitiva (NARANJO-HERNANDEZ *et al.*, 2018), ou ainda, utilizando a ressonância magnética (HWANG *et al.*, 2021). As cintas elásticas com fibras ópticas de Bragg são capazes de detectar movimentos de tórax e abdômen durante a respiração e, consequentemente, reconstruir o padrão respiratório (ISSATAYEVA *et al.*, 2020). As precisões, apesar de consistentes, ainda apresentam, entretanto, variações em indivíduos diferentes, necessitando de mais testes para explicar as causas dessas variações. Outra maneira de estimar a frequência respiratória apresentada foi através de um sensor descartável, no formato de Band-Aid®, medindo a tensão local da caixa torácica durante a respiração (CHU *et al.*, 2019). As métricas são altamente correlacionadas às medições de um espirômetro, e testes foram realizados em várias condições ambulatoriais. Um colete para a estimação da frequência respiratória por detecção capacitiva para o monitoramento sem contato, confortável e de baixo custo, foi apresentado (NARANJO-HERNANDEZ *et al.*, 2018). Os valores estimados foram comparados com o padrão ouro, tanto se avaliando pacientes saudáveis quanto outros com

doenças pulmonares, apresentando valores médios de erro de 0,01 e -0,14 respirações por minuto, respectivamente. Ainda, em outro trabalho, é utilizado um sensor de ressonância magnética LC (*magneto LC resonance* – MLCR), que converte as oscilações magnéticas da respiração de um paciente em um espectro de impedância, permitindo a análise profunda da variação da respiração (HWANG *et al.*, 2021). Como é possível verificar variações anômalas na frequência e na amplitude respiratória, o sensor pode ser aplicado para detecção e monitoramento em tempo real da COVID-19.

Soluções para o monitoramento mais rápido e eficaz da temperatura corporal são cada vez mais exploradas. Estudos utilizando cristal fotônico baseado na ressonância de Tamm (ZAKY; AHMED; ALY, 2021), dispositivo embarcado baseado no sensor de temperatura DS18B20 (SAHA *et al.*, 2021), desenvolvimento de dispositivo vestível para monitoramento remoto (MONY *et al.*, 2018) e termômetros ópticos utilizando espectroscopia Raman e dióxido de titânio (ZANI *et al.*, 2021) foram os relacionados nesta pesquisa.

O acoplamento entre as propriedades do cristal fotônico de silício e a ressonância de Tamm fornece uma alta sensibilidade, uma alta relação sinal-ruído e uma resolução muito baixa (ZAKY; AHMED; ALY, 2021). O sensor DS18B20 foi utilizado para o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo com o Arduino Nano e o módulo Zigbee (SAHA *et al.*, 2021). Nesse protótipo, os dados de temperatura do paciente são obtidos e analisados com base no banco de dados desse paciente, dando um *feedback* adequado e em tempo real.

Outro artigo discute a utilização de um dispositivo no formato de pulseira que foi fixado confortavelmente; os dados foram transmitidos através de dispositivo *gateway* para o armazenamento e a análise (MONY *et al.*, 2018). O dispositivo é promissor em termos de viabilidade e segurança, contudo necessita de calibração para ter uma precisão adequada. As principais vantagens da espectroscopia Raman residem na possibilidade de realizações de ações não destrutivas e medições, sem contato, com alta resolução espacial, chegando à nanoescala (ZANI *et al.*, 2021). Os resultados obtidos demonstram que a tecnologia é uma excelente candidata para a detecção de temperatura local.

O monitoramento da pressão arterial também é importante para a análise de deterioração clínica. Aqui neste artigo, dois estudos relacionam o desenvolvimento de um medidor de pressão arterial remoto utilizando a técnica de fotopletoislografia, com leitura na ponta do dedo (LIANG *et al.*, 2018) e no pulso (LI *et al.*, 2019). No primeiro trabalho, a partir do processamento da onda de sinal fotopletoislográfico no domínio do tempo e da frequência, é possível extrair dados para a análise do envelhecimento vascular e pressão arterial. No segundo, a pressão arterial é estimada a partir da correlação entre a diferença de fase de duas ondas de pulso e o estado do músculo liso da parede arterial. Os trabalhos demonstram que uma série de características da fotopletoislografia pode ser definida e explorada, analisando as informações fisiológicas contidas no formato de onda de modo abrangente. A identificação e a extração precisa dessas características, por meio de técnicas de processamento de sinais digitais, têm um grande valor na análise da pressão arterial.

Além dos sinais vitais já citados, a verificação da frequência cardíaca também é indicada durante o processo de monitoramento. Em tecnologias vestíveis, esse sinal pode ser monitorado a partir de técnicas não invasivas, como a fotopletoislografia (ASKARIAN; JUNG; CHONG, 2019), ou minimamente invasivas, com o uso de microagulhas de parileno (SATTI *et al.*, 2020). A determinação da frequência cardíaca por meio da fotopletoislografia sofre, no entanto, grande influência de fatores ambientais, como luz, temperatura e meio (ASKARIAN; JUNG; CHONG, 2019). Os sensores encontrados em *smartphones* são muito suscetíveis a essas variações em comparação

ao dispositivo de fotopletiografia padrão ouro. Em contrapartida, o desenvolvimento de um eletrocardiograma sem fio, vestível e com eletrodos de microagulhas de parileno mostrou estabilidade e durabilidade em comparação com os comumente utilizados (SATTI *et al.*, 2020). O dispositivo apresentou um menor ruído proveniente de movimentos do paciente, mostrando a sua potencialidade de uso como um equipamento vestível.

Outros estudos foram analisados nesta revisão, os quais monitoram mais de um sinal vital de forma integrada, utilizando tecnologias vestíveis, diversos sensores embarcados e com formatos diferentes. Nessa linha, tem-se como exemplos: a máscara de polidimetilsiloxano com sensores embarcados e transmissão *bluetooth* para o monitoramento de frequência cardíaca, saturação de oxigênio, pressão arterial e temperatura (PAN *et al.*, 2020); o relógio capaz de medir a temperatura e a frequência cardíaca a cada 10 segundos e disparar lembretes por *chatbots* (CHUNG *et al.*, 2020); o sistema de aquisição para monitorar eletrocardiograma, temperatura, pletismograma, saturação de oxigênio, pressão arterial e frequência cardíaca, transmitindo-os via web de forma segura e rápida (PINTAVIROOJ; KEATSAMARN; TREEBUPACHATSAKUL, 2021); a implementação integrada de biossensores comerciais para medir a frequência cardíaca, saturação de oxigênio e frequência respiratória, comparando-os com os dispositivos de monitoramento clínico padrão (RESTREPO *et al.*, 2021); o estetoscópio vestível para estimar as frequências respiratórias e cardíacas (KLUM *et al.*, 2020); e a plataforma com o biossensor Everion e aprendizagem de máquina, para monitorar frequência cardíaca, temperatura, pressão arterial, saturação de oxigênio, frequência cardíaca e actigrafia, detectando a deterioração clínica de pacientes com COVID-19 (UN *et al.*, 2021).

Alguns estudos apontam para a relação entre a variação do biomarcador IL-6 e a detecção e agravamento da COVID-19 (WANG *et al.*, 2020; YADAV *et al.*, 2021). Na pesquisa realizada, um trabalho descreve um sistema simples para a medição desse biomarcador (RUSSELL *et al.*, 2019). Com a utilização de microeletrodos e substrato em forma de agulha, essa técnica minimamente invasiva possibilita a medição do IL-6 em tempo real, com uma boa relação sinal-ruído e capacidade de medições em situações hidrodinâmicas.

A revisão de literatura teve vários pontos fortes, incluindo a pesquisa em vários bancos de dados: PubMed, MDPI, IEEE Library, Springer Link, Science Direct e Google Acadêmico. Além disso, os artigos selecionados foram revisados e, com base na ferramenta AMSTAR 2 e nos critérios de avaliação de qualidade propostos em Shea *et al.* (2017), esta revisão possui uma avaliação alta. Este estudo exclui trabalhos que não foram escritos em inglês, anteriores a 2017 e que utilizam técnicas que não podem ser aplicadas de forma vestível e para monitoramento remoto.

5 Conclusão

Este artigo de revisão sistemática apresenta diferentes técnicas para utilização de biossensores vestíveis para monitorar sinais vitais importantes em pacientes com síndrome respiratória aguda, como a COVID-19. Devido à utilização de uma abordagem sistemática, o trabalho fornece uma ampla visão geral e recente do uso de sensores que permitem ao paciente o automonitoramento, controlando uma possível progressão da doença e evitando a disseminação em casos de doenças transmissíveis e epidemias. O desenvolvimento e a aplicação de soluções tecnológicas podem, portanto, melhorar o controle e gestão de doenças bem como o monitoramento de sinais vitais de forma contínua em diversos contextos.

Mais estudos são, no entanto, necessários, para investigar possíveis fatores que podem interferir nas medidas desses sensores, para verificar a sua aplicabilidade e escalabilidade, para confirmar a sua eficácia no controle da propagação do coronavírus e apresentar resultados aceitáveis em relação aos métodos ouro utilizados atualmente. Muitos estudos ainda apresentam testes em grupos pequenos e saudáveis, em condições controláveis e poucas comparações com o estado da arte; todavia, o número de trabalhos apresentando soluções com tecnologias vestíveis tem aumentado, mostrando o seu potencial.

Os autores declaram não haver conflitos de interesse com qualquer empresa ou organização em relação ao material discutido neste artigo. O protocolo de pesquisa foi validado por um especialista, além de ter sido utilizado em outros trabalhos de revisão sistemática, como Kristoffersson e Lindén (2020) e Mohammadzadeh *et al.* (2020).

Financiamento

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC), processo 3237/2021, sob o termo de outorga 2021TR2264.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ASKARIAN, B.; JUNG, K.; CHONG, J. W. Monitoring of heart rate from photoplethysmographic signals using a Samsung Galaxy Note8 in underwater environments. **Sensors**, v. 19, n. 13, p. 2846-2861, June 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19132846>.

CAMPUZANO, S.; YÁÑEZ-SEDEÑO, P.; PINGARRÓN, J. M. Revisiting electrochemical biosensing in the 21st century society for inflammatory cytokines involved in autoimmune, neurodegenerative, cardiac, viral and cancer diseases. **Sensors**, v. 21, n. 1, p. 189-219, Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21010189>.

CHU, M.; NGUEYEN, T.; PANDEY, V.; ZHOU, Y.; PHAM, H. N.; BAR-YOSEPH, R.; RADOM-AIZIK, S.; JAIN, R.; COOPER, D. M.; KHINE, M. Respiration rate and volume measurements using wearable strain sensors. **NPJ Digital Medicine**, v. 2, 8, Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0083-3>.

CHUNG, Y.-T.; YEH, C.-Y.; SHU, Y.-C.; CHUANG, K.-T.; CHEN, C.-C.; KAO, H.-Y.; KO, W.-C. CHEN, P.-L.; KO, N.-Y. Continuous temperature monitoring by a wearable device for early detection of febrile events in the SARS-CoV-2 outbreak in Taiwan, 2020. **Journal of Microbiology, Immunology and Infection**, v. 53, n. 3, p. 503-504, June 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2020.04.005>.

DIAS, D.; CUNHA, J. P. S. Wearable health devices: vital sign monitoring, systems and technologies. **Sensors**, v. 18, n. 8, p. 2414-2441, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18082414>.

DING, X.; CLIFTON, D.; JI, N.; LOVELL, N. H.; BONATO, P.; CHEN, W.; YU, X.; XUE, Z.; XIANG, T.; LONG, X.; XU, K. JIANG, X.; WANG, Q.; YIN, B.; FENG, G.; ZHANG, Y.-T. Wearable sensing and telehealth technology with potential applications in the coronavirus pandemic. **IEEE Reviews in Biomedical Engineering**, v. 14, p. 48-70, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/RBME.2020.2992838>.

DONG, Y.; YAO, Y.-D. IoT platform for COVID-19 prevention and control: a survey. **IEEE Access**, v. 9, p. 49929-49941, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3068276>.

HWANG, K. Y.; JIMENEZ, V. O.; MUCHHARLA, B.; EGGERS, T.; LE, A.-T.; LAM, V. D.; PHAN, M.-H. A novel magnetic respiratory sensor for human healthcare. **Applied Sciences**, v. 11, n. 8, p. 3585-3594, Apr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11083585>.

ISLAM, M. M.; RAHAMAN, A.; ISLAM, M. R. Development of smart healthcare monitoring system in IoT environment. **SN Computer Science**, v. 1, n. 3, p. 185-195, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00195-y>.

ISLAM, M. M.; MAHMUD, S.; MUHAMMAD, L. J.; ISLAM, M. R.; NOORUDDIN, S.; AYON, S. I. Wearable technology to assist the patients infected with novel coronavirus (COVID-19). **SN Computer Science**, v. 1, n. 6, p. 320-328, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00335-4>.

ISSATAYEVA, A.; BEISENOVA, A.; TOSI, D.; MOLARDI, C. Fiber-optic based smart textiles for real-time monitoring of breathing rate. **Sensors**, v. 20, n. 12, p. 3408-3423, June 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123408>.

KLUM, M.; URBAN, M.; TIGGES, T.; PIELMUS, A.-G.; FELDHEISER, A.; SCHMITT, T.; ORGLMEISTER, R. Wearable cardiorespiratory monitoring employing a multimodal digital patch stethoscope: estimation of ECG, PEP, LVET and respiration using a 55 mm single-lead ECG and phonocardiogram. **Sensors**, v. 20, n. 7, p. 2033-2053, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20072033>.

KRISTOFFERSSON, A.; LINDÉN, M. Wearable sensors for monitoring and preventing noncommunicable diseases: a systematic review. **Information**, v. 11, n. 11, p. 521-551, jun./nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/info11110521>.

LI, Y.; LI, S.; SONG, H.; SHAO, B.; YANG, X.; DENG, N. Noninvasive blood pressure estimation with peak delay of different pulse waves. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 15, n. 3, Mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/1550147719837877>.

LIANG, Y.; CHEN, Z.; LIU, G.; ELGENDI, M. A new, short-recorded photoplethysmogram dataset for blood pressure monitoring in China. **Scientific Data**, v. 5, 180020, Feb. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.20>.

LIU, C.; CORREIA, R.; BALLAJI, H. K.; KORPOSH, S.; HAYES-GILL, B. R.; MORGAN, S. P. Optical fibre-based pulse oximetry sensor with contact force detection. **Sensors**, v. 18, n. 11, p. 3632-3642, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113632>.

MAJUMDER, S.; MONDAL, T.; DEEN, M. J. Wearable sensors for remote health monitoring. **Sensors**, v. 17, n. 1, p. 130-174, Jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17010130>.

MOHAMMADZADEH, N.; GHOLAMZADEH, M.; SAEEDI, S.; REZAYI, S. The application of wearable smart sensors for monitoring the vital signs of patients in epidemics: a systematic literature review. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 13, n. 1, p. 15-29, Nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02656-x>.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **PLoS medicine**, v. 6, n. 7, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.

MONY, P. K.; THANKACHAN, P.; BHAT, S.; RAO, S.; WASHINGTON, M.; ANTONY, S.; THOMAS, A.; NAGARAJARAO, S. C.; RAO, H.; AMRUTUR, B. Remote biomonitoring of temperatures in mothers and newborns: design, development and testing of a wearable sensor device in a tertiary-care hospital in southern India. **BMJ Innovations**, v. 4, n. 2, p. 60-67, Apr. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjinnov-2016-000153>.

NARANJO-HERNÁNDEZ, D.; TALAMINOS-BARROSO, A.; REINA-TOSINA, J.; ROA, L. M.; BARBAROV-ROSTAN, G.; CEJUDO-RAMOS, P.; MÁRQUEZ-MARTÍN, E.; ORTEGA-RUIZ, F. Smart vest for respiratory rate monitoring of COPD patients based on non-contact capacitive sensing. **Sensors**, v. 18, n. 7, p. 2144-2167, May 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18072144>.

PAN, L.; WANG, C.; JIN, H.; LI, J.; YANG, L.; ZHENG, Y.; WEN, Y.; TAN, B. H.; LOH, X. J.; CHEN, X. Lab-on-mask for remote respiratory monitoring. **American Chemical Society Materials Letters**, v. 2, n. 9, p. 1178-1181, Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.0c00299>.

PINTAVIROOJ, C.; KEATSAMARN, T.; TREEBUPACHATSAKUL, T. Multi-parameter vital sign telemedicine system using web socket for COVID-19 pandemics. **Healthcare**, v. 9, n. 3, p. 285-303, Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare9030285>.

RESTREPO, M.; HUFFENBERGER, A. M.; HANSON III, C. W.; DRAUGELIS, M.; LAUDANSKI, K. Remote monitoring of critically-ill post-surgical patients: lessons from a biosensor implementation trial. **Healthcare**, v. 9, n. 3, p. 343-352, Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare9030343>.

RUSSELL, C.; WARD, A. C.; VEZZA, V.; HOSKISSON, P.; ALCORN, D.; STEENSON, D. P.; CORRIGAN, D. K. Development of a needle shaped microelectrode for electrochemical detection of the sepsis biomarker interleukin-6 (IL-6) in real time. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 126, n. 1, p. 806-814, Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.11.053>.

SAHA, R.; BISWAS, S.; SARMAH, S.; KARMAKAR, S.; DAS, P. A working prototype using DS18B20 temperature sensor and Arduino for health monitoring. **SN Computer Science**, v. 2, n. 1, p. 33-53, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00434-2>.

SATTI, A. T.; PARK, J.; PARK, J.; KIM, H.; CHO, S. Fabrication of parylene-coated microneedle array electrode for wearable ECG device. **Sensors**, v. 20, n. 18, p. 5183-5197, jul./sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20185183>.

SHEA, B. J.; REEVES, B. C.; WELLS, G.; THUKU, M.; HAMEL, C.; MORAN, J.; MOHER, D.; TUGWELL, P.; WELCH, V.; KRISTJANSSON, E.; HENRY, D. A. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. **The British Medical Journal**, v. 358, j4008, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>.

TEO, J. Early detection of silent hypoxia in covid-19 pneumonia using smartphone pulse oximetry. **Journal of Medical Systems**, v. 44, n. 8, p. 134-135, June 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01587-6>.

UN, K.-C.; WONG, C.-K.; LAU, Y.-M.; LEE, J. C.-Y.; TAM, F. C.-C.; LAI, W.-H.; LAU, Y.-M.; CHEN, H.; WIBOWO, S.; ZHANG, X.; YAN, M.; WU, E.; CHAN, S.-C.; LEE, S.-M.; CHOW, A.; TONG, R. C.-F.; MAJMUDAR, M. D.; RAJPUT, K. S.; HUNG, I. F.-N.; SIU, C.-W. Observational study on wearable biosensors and machine learning-based remote monitoring of COVID-19 patients. **Scientific Reports**, v. 11, 4388, Feb. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82771-7>.

WANG, D.; HU, B.; HU, C.; ZHU, F.; LIU, X.; ZHANG, J.; WANG, B.; XIANG, H.; CHENG, Z.; XIOMG, Y.; ZHAO, Y.; LI, Y.; WANG, X.; PENG, Z. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. **The Journal of the American Medical Association**, v. 323, n. 11, p. 1061-1069, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.1585>.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard**. [Online]. 2021. Disponível em: <https://covid19.who.int/>. Acesso em: 8 nov. 2022.

YADAV, A. K.; VERMA, D.; KUMAR, A.; KUMAR, P.; SOLANKI, P. R. The perspectives of biomarker-based electrochemical immunosensors, artificial intelligence and the Internet of Medical Things toward COVID-19 diagnosis and management. **Materials Today Chemistry**, v. 20, 100443, June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2021.100443>.

ZAKY, Z. A.; AHMED, A. M.; ALY, A. H. Remote temperature sensor based on Tamm resonance. **Silicon**, v. 14, p. 2765-2777, Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01064-w>.

ZANI, V.; PEDRON, D.; PILOT, R.; SIGNORINI, R. Contactless temperature sensing at the microscale based on titanium dioxide Raman thermometry. **Biosensors**, v. 11, n. 4, p. 102-118, Apr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/bios11040102>.

Anexo A – Características dos artigos selecionados

Autor	País	Abordagem	Sensor/tecnologia	Sinais vitais monitorados
Teo (2020)	Malásia	Comparação da medida de saturação de oxigênio no sangue feita pelos sensores de smartphones e oxímetros utilizados em unidades de tratamento intensivo	Oxímetro de smartphone	Saturação de oxigênio (SpO2)
Liu <i>et al.</i> (2018)	Reino Unido	Integrar o monitoramento da saturação do oxigênio através de três fibras ópticas plásticas e a medição de pressão de contato a partir de um sensor de rede de Bragg	Fibra óptica	Saturação de oxigênio (SpO2)
Issatayeva <i>et al.</i> (2020)	Cazaquistão	Aplicação de tecnologia de fibra óptica de rede de Bragg, em roupas leves, para detecção de movimentos de tórax e abdômen durante a respiração	Fibra óptica	Frequência respiratória
Askarian <i>et al.</i> (2019)	EUA	Comparação da estimativa da frequência cardíaca por fotopletismografia, em diferentes ambientes, do Galaxy Note8 e um sensor padrão ouro	Samsung Galaxy Note8	Frequência Cardíaca
Liang <i>et al.</i> (2018)	Canadá	Desenvolvimento de medidor de pressão arterial remoto, através de fotopletismografia, aplicado na ponta do dedo do paciente e transmissão de dados via bluetooth	Sensores ópticos (fotopletismografia)	Pressão arterial
Pan <i>et al.</i> (2020)	Singapura	Máscara de polidimetilsiloxano com sensores embarcados para monitoramento de sinais vitais, sem contato, transmitidos através de bluetooth	Sensores ópticos e térmicos	Frequência cardíaca, saturação oxigênio, pressão arterial e temperatura
Chung <i>et al.</i> (2020)	Taiwan	Desenvolvimento de um dispositivo vestível, semelhante a um relógio, capaz de medir a temperatura e a frequência cardíaca a cada 10 segundos e disparar lembretes por chatbots	Tecnologia vestível	Temperatura e frequência cardíaca
Chu <i>et al.</i> (2019)	EUA	Sensor descartável, no formato de <i>band-aid</i> , para medir a taxa e volume de respiração através da tensão local da caixa torácica e do abdômen durante a respiração	Sensores piezoresistivos	Taxa e volume de respiração
Zaky <i>et al.</i> (2021)	Egito	Proposta de um sensor remoto de temperatura altamente sensível baseado na ressonância de Tamm, usando um cristal fotônico unidimensional.	Cristal fotônico	Temperatura
Li <i>et al.</i> (2019)	China	Estimativa da pressão arterial através da correlação da diferença de fase de duas ondas de pulso e o estado do músculo liso da parede arterial, medidos por meio da fotopletismografia	Sensores ópticos (fotopletismografia)	Pressão arterial

Continua

Naranjo-Hernandez <i>et al.</i> (2018)	Espanha	Desenvolvimento de dispositivo portátil para monitoramento, sem contato, da frequência respiratória por detecção capacitiva durante período de reabilitação respiratória	Colete com detecção capacitiva	Frequência respiratória
Saha <i>et al.</i> (2021)	Singapura	Protótipo funcional, para sistema de monitoramento de saúde em tempo real, usando sensor de temperatura DS18B20, microcontrolador ATmega328 e módulo Zigbee para comunicação sem fio	Sensor DS18B20	Temperatura
Pintavirooj <i>et al.</i> (2021)	Tailândia	Apresentação de um sistema de aquisição composto por sensores vestíveis para monitorar seis sinais vitais e transmiti-los via web, de forma segura e rápida	Tecnologia vestível	ECG, temperatura, pletismograma, saturação oxigênio, pressão arterial e frequência cardíaca
Restrepo <i>et al.</i> (2021)	EUA	Implementação e aceitação de biossensores comerciais em comparação com os dispositivos de monitoramento clínico padrão	Biossensores vestíveis	Frequência cardíaca, saturação oxigênio e frequência respiratória
Satti <i>et al.</i> (2020)	Coréia do Sul	ECG vestível sem fio composto por microagulhas revestidas de parileno rígido	Microagulhas	ECG
Klum <i>et al.</i> (2020)	Alemanha	Utilização de dispositivo multimodal vestível para estimativa de sinal respiratório	Estetoscópio vestível	ECG, PEP, LVET e frequência respiratória
Hwang <i>et al.</i> (2021)	EUA	Desenvolvimento de uma plataforma de detecção magnética não invasiva e sem contato para monitorar com precisão a respiração do paciente	Ressonância magnética	Frequência respiratória
Un <i>et al.</i> (2021)	China	Desenvolvimento de plataforma de monitoramento de pacientes com Covid19, utilizando tecnologia vestível para medir os sinais biomédicos e aprendizagem de máquina para detecção de deterioração clínica	Biossensor vestível Everion	Frequência respiratória, temperatura, pressão arterial, saturação oxigênio, frequência cardíaca e actigrafia
Russell <i>et al.</i> (2019)	Reino Unido	Descrição de um sistema simples para a medição eficaz e em tempo real do biomarcador IL-6, utilizando um novo microeletrodo integrado a um substrato em forma de agulha	Microeletrodo	Biomarcador IL-6
Mony <i>et al.</i> (2018)	India	Design, desenvolvimento e testes de um dispositivo vestível para monitoramento remoto de temperatura corporal	Sensor vestível	Temperatura
Zani <i>et al.</i> (2021)	Itália	Investigação de termômetros ópticos eficientes que utilizam a tecnologia de espectroscopia Raman e dióxido de titânio	Espectroscopia Raman	Temperatura