

POTENCIAIS APLICABILIDADES DE TECNOLOGIAS DIGITAIS: UM ESTUDO SOBRE *WEARABLES* NA INDÚSTRIA DE ÓLEO E GÁS

Jane Lucia S. Santos¹

Maria Angelica Jung Marques²

Denilson Sell³

Heron Jader Trierveiler⁴

Abstract: *The advancement of digital transformation has provided a growing application and use of technologies in various fields and sectors of contemporary society. In this sense, several studies have pointed to the possibilities and opportunities for the adoption of wearables in industries of high operational complexity as solutions aimed at the safety and health of workers in various sectors. By examining potential applicability of wearables according to the perception of workers in the oil and gas (O&G) industry, this study proposes and develops an analytical framework of the applicability of wearables with the potential to promote safety in the O&G industry. The study revealed a low use of wearables, and by adopting an approach oriented to the experience and opinions of workers, it presents a map with clues and opportunities for processes of adoption and/or development of wearables and similar digital technologies.*

Keywords: *digital technologies; wearables; oil and gas industry; survey.*

Resumo: O avanço da transformação digital tem propiciado uma crescente aplicação e uso de tecnologias em diversos campos e setores da sociedade contemporânea. Nesse sentido, diversos estudos têm apontado para as possibilidades e oportunidades da adoção de *wearables* em indústrias de alta complexidade operacional como soluções voltadas para a segurança e saúde dos trabalhadores de vários setores. Ao examinar potenciais aplicabilidades de *wearables* segundo a percepção de trabalhadores da indústria de óleo e gás (O&G), este estudo propõe e desenvolve um quadro analítico das aplicabilidades de *wearables* com potencial para promover a segurança na indústria de O&G. O estudo revelou uma baixa utilização de *wearables*, e ao adotar uma abordagem orientada a experiência e opiniões dos trabalhadores, apresenta um mapa com pistas e oportunidades para processos de adoção e/ou desenvolvimento de *wearables* e tecnologias digitais similares.

Palavras-chave: *tecnologias digitais; wearables; indústria petrolífera; survey.*

¹ Pesquisadora Doutora, HFACTORS, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Porto Alegre/RS, Brasil. E-mail: jane.santos@pucrs.br

² Pós-doutoranda, HFACTORS, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Porto Alegre/RS, Brasil.. E-mail: maria.angelica@pucrs.br

³ Professor, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Pesquisador Doutor do HFACTORS-PUCRS. Brasil. E-mail: denilson.sell@pucrs.br

⁴ Doutorando, PPEGC- Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pesquisador, HFACTORS-PUCRS. Brasil. E-mail: heron.trierweiler@pucrs.br

1 INTRODUÇÃO

A transformação digital é um fenômeno de nível global que tem gerado mudanças na cultura, nas estruturas e nos sistemas socioeconômicos, com impactos tanto para a sociedade como para as empresas. Com a era da Internet das Coisas (IoT), cadeias de valor inteiras estão sendo transformadas pela tecnologia digital, seja de modo evolutivo ou disruptivo (Schwab & Davis, 2019). Com o avanço da transformação digital, diversos estudos têm apontado para as possibilidades e oportunidades na adoção de tecnologias digitais em diferentes setores, gerando reflexões sobre os desafios inerentes e os riscos para as indústrias que desenvolvem operações de alta complexidade operacional.

Dentre as tecnologias que tem emergido neste contexto, destacam-se o papel potencial e a aplicação de vestíveis (*wearables*) como soluções voltadas para a segurança e saúde dos trabalhadores de diversos setores. Dispositivos de sensores móveis, como vestíveis inteligentes (*smart wearables*) e rastreadores de atividades, abrem novas oportunidades para serem usados pelas empresas (Swan, 2012, 2013), possibilitando que sejam coletados dados biométricos e de monitoramento (Paluch & Tuzovic, 2017). A IoT e os *wearables* vem demonstrando potencial contribuição a setores de alto risco e complexidade operacional, tal como a indústria de óleo e gás (O&G). Neste tipo de indústria, vidas humanas estão em jogo, e aplicações de IoT e *wearables* vêm sendo avaliadas em cenários ligados a melhoria da segurança, saúde e bem-estar (Adjiski, Despodov, Mirakovski, & Serafimovski, 2019; Henriette, 2015). Entretanto, são várias as especificidades de cada indústria que devem ser consideradas para retratar as oportunidades e desafios associados à transformação digital e, em específico, para a aplicação de *wearables* na promoção da segurança e bem-estar dos trabalhadores (Thibaud *et al.*, 2018; Schall *et al.*, 2018). Ademais, verificam-se na literatura relatos sobre o fracasso de iniciativas de transformação digital (Lu *et al.*, 2019). No que tange a aplicação de *wearables* em programas de promoção da segurança e do bem-estar no trabalho, estudos como o realizado por Schall *et al.* (2018) revelam que dentre as barreiras para a plena implementação de *wearables*, destacam-se as preocupações em relação a confidencialidade dos dados coletados, a conformidade com os aspectos legais, a durabilidade e a confiabilidade dos equipamentos, e a relação custo-benefício do uso dessas tecnologias.

A indústria de O&G desponta como um dos setores que carecem de estudos específicos de aplicação e uso de *wearables* para melhorar a segurança, devido à grande complexidade e risco em seus processos, e alto impacto social, ambiental e econômico associado a um evento de segurança (Wanasinghe *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2019). No entanto, a indústria de O&G, que desde os anos 1980 foi precursora da adoção de inovações

tecnológicas, inclusive de big data (*World Economic Forum*, 2017), tem demonstrado cautela na adoção de tecnologias digitais, principalmente aquelas que combinam hardware, sensores, armazenamento de dados, microprocessadores e software (Porter & Heppelmann, 2014). Essa cautela pode ser atribuída a diversas causas, desde obstáculos à integração com os sistemas existentes até questões relacionadas à cibersegurança, e, no caso específico do uso de *wearables*, preocupações relacionadas às implicações de privacidade no local de trabalho (Nguyen, Gosine, & Warriar, 2020). Lu, Guo, Azimi, & Huang (2019) – em sua revisão sistemática e análise sobre a indústria de O&G 4.0 – apontam a utilização de *wearables* como oportunidade de melhorar a segurança operacional por meio de treinamentos em ambiente de imersão, tais como treinamentos de manutenção e operação de equipamentos. Neste caso, o *wearable* poderia ajudar os trabalhadores a compreender e operar o ambiente físico, fornecer explicação detalhada para tarefas manuais de alta complexidade e gerar mensagens instantâneas de orientações (Lv, Feng, Feng, & Li, 2015).

A literatura técnico-científica sobre o uso de *wearables* na indústria de O&G ainda é escassa. Embora alguns estudos empíricos tenham destacado as oportunidades do uso de dispositivos vestíveis na indústria de O&G (Wanasinghe *et al.*, 2020), esses estudos também apontam preocupações relacionadas às informações para os usuários finais sobre a quantidade de dados coletados e o envolvimento de empresas terceirizadas em seu processamento, à utilização destes dados pelo empregador para avaliar o desempenho do funcionário, mesmo não estando em serviço (Nguyen *et al.*, 2020), ao aparato regulatório que dificulta o compartilhamento de dados ao longo da cadeia de valor, à vulnerabilidade a ataques cibernéticos, à indisponibilidade de infraestrutura comunicacional e a manutenção e obsolescência (Nguyen *et al.*, 2020; Richardson & Mackinnon, 2017; World Economic Forum 2017). Segundo Nguyen *et al.* (2020), os dados de rastreamento de saúde podem, por exemplo, basear ações jurídicas contra um empregador por condições insalubres de trabalho (Richardson & Mackinnon, 2017), embora os autores recomendem a consideração dessas preocupações como novas oportunidades para atualizar os sistemas existentes e inovar.

Ainda que estudos anteriores tenham analisado a adoção de tecnologias digitais (incluindo *wearables*) em várias indústrias, verifica-se a necessidade e a relevância de conhecer a percepção dos trabalhadores da indústria de O&G sobre este assunto, no que diz respeito às suas potencialidades para promoção da segurança. Com o objetivo de examinar potenciais aplicabilidades de tecnologias *wearables* na indústria de exploração e produção de O&G, na costa brasileira, este trabalho fornece um quadro analítico que pode ser utilizado em futuras

pesquisas (no mesmo setor ou setores similares) e gera resultados que podem ser úteis para gestores que estão interessados em processos de transformação digital em suas empresas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas últimas décadas, a internet permitiu o surgimento de produtos inteligentes e conectados, mas é a natureza transformadora das “coisas” que está promovendo de fato uma transformação (Porter & Heppelmann, 2014). Os sensores, os processadores, os softwares e a conectividade entre eles, além do armazenamento de dados na nuvem e seu processamento, promovem melhorias substanciais nas funções e no desempenho dos novos dispositivos tecnológicos, decorrente de uma convergência de inovações e avanços tecnológicos promovidos pela digitalização (Porter & Heppelmann, 2014; Strozzi *et al.*, 2017). O físico e o digital, desta forma, se fundem, não sendo mais possível diferenciá-los facilmente. Nesses sistemas ciberfísicos (CPS), os objetos físicos e *software* são intimamente entrelaçados e os diferentes componentes interagem uns com os outros em uma miríade de formas para compartilhar informação (Zhong *et al.*, 2017). Por meio da combinação entre as tecnologias da internet e os objetos inteligentes, a comunicação entre humanos, máquinas e produtos tende a ser mais fluida com apoio de CPS que capturarão e processarão dados para autocontrolar tarefas e interagir com humanos por meio de interfaces (Lasi *et al.*, 2014).

A presença da Internet das Coisas (IoT) já está sendo percebida em muitos setores. Na indústria, novas tecnologias e ideias têm sido testadas para melhorar a segurança em uma variedade de locais com operações de alto risco, incluindo mineração de superfície e subterrânea, canteiros de obras, usinas de energia, exploração de petróleo em águas profundas, entre outros. Nesses contextos, são provadas várias tecnologias de sensores incorporadas a equipamentos de proteção individual (EPI) para monitorar a saúde dos trabalhadores, sua exposição a elementos nocivos, proximidade a zonas de perigo, etc. Tecnologias conectadas a *smartphones* e *smartwatches* também têm o potencial de aumentar a consciência situacional dos trabalhadores por meio de coleta dados sobre o próprio local de trabalho, detectando riscos ao meio ambiente e à saúde (Adjiski *et al.*, 2019). Indústrias de mineração, por exemplo, estão interessadas fortemente em questões de saúde e segurança.

Nos últimos anos, essa indústria vem sendo pressionada para se tornar mais inovadora, segura, sustentável e eficiente. Além disso, são esperadas melhorias no portfólio de ativos, redução dos custos operacionais e de capital e maximização da produtividade do capital (Wanasinghe, 2020). O Fórum Econômico Mundial (2017) aponta que os incrementos

tecnológicos tão comuns no setor de O&G podem não ser mais suficientes para que essa indústria se beneficie das inovações tecnológicas surgidas nos últimos anos.

Apesar de direcionar volumes significativos de seus investimentos ao aumento da segurança operacional e saúde dos trabalhadores, acidentes continuam ocorrendo no setor de O&G, demandando das empresas esforços de melhoria contínua. A Base de Dados Mundial de Acidentes *Offshore* (WOAD), referência no assunto, registra que houve 2.288 fatalidades em 6.451 acidentes em plantas offshore entre 1970 e 2012 (Wanasinghe 2020). Os principais riscos ocupacionais associados ao trabalho em instalações do setor de O&G são escorregões, tropeções e quedas; lesões decorrentes de falhas dos equipamentos; colisões com objetos móveis; ações repetitivas de manuseio, levantamento e transporte; exposição a condições ambientais extremas e exposição a substâncias tóxicas (Wanasinghe, 2020).

As soluções baseadas em wearables e IoT podem ser instrumentos para diminuição de riscos e prevenção de acidentes nos locais de trabalho (Mukhopadhyay, 2015). Acoplados a equipamentos pessoais de proteção, como capacetes de segurança, protetores de olhos, roupas, luvas e sapatos de proteção (Wanasinghe 2020), esses dispositivos, quando conectados à internet, transmitem dados em tempo real e os armazenam na nuvem para que sejam processados por técnicas de análise de big data (*World Economic Forum*, 2017). Em pesquisa desenvolvida junto a diferentes setores no território americano incluindo mais de 1.000 respondentes, aproximadamente metade dos trabalhadores se mostrou favorável ao uso de *wearables* para monitorar fatores de risco e métricas de exposição das pessoas em seus ambientes de trabalho (Shall *et al.*, 2018). Contudo, ainda que a tecnologia esteja disponível e seja acessível, barreiras dificultam sua disseminação em setores como o de O&G. As mais comuns relacionam-se à privacidade e à confidencialidade dos dados coletados, à durabilidade dos sensores, à relação custo benefício de sua adoção e ao excesso de informações (Reid *et al.*, 2017). Os trabalhadores, especificamente, relatam preocupação quanto à possibilidade de estarem sendo constantemente monitorados (Schall *et al.*, 2018).

Tendo em vista os cenários de aplicação de *wearables* identificados na literatura técnico-científica, foram identificadas potenciais contribuições da adoção de *wearables* para a promoção da segurança nas operações da indústria de óleo e gás (ver Quadro 1).

Quadro 1. Potenciais contribuições e aplicabilidades de tecnologias *wearables*

Potenciais Contribuições/Aplicabilidades de Wearables	Referências
Emissão de alertas de riscos , em situações como: Acesso a áreas não autorizadas Alertas de proximidade a equipamentos Alertas sobre as condições dos equipamentos e das instalações Comunicação de alerta de perigo	Ahn et al., 2019; Cavuoto & Megahed, (2018); Johnson (2019); Schall, Sesek, & Cavuoto, (2018); Verdantix (2018)

Identificação ou prevenção de queda de objetos Identificação ou prevenção de escorregões, deslizos e queda de trabalhadores	
Coordenação e execução do trabalho , em aplicações voltadas para: Agilidade de registro de não conformidades Análise de tarefas conflitantes executadas no mesmo local Atualização dos cronogramas e planos de trabalho Comunicação entre os membros de equipe Localização em tempo real: rastreamento e localização dos trabalhadores, e rastreamento de trabalhadores certificados para operar os equipamentos Controle da necessidade de reabastecimento de equipamentos (e.g. cilindros de gás ou fluidos hidráulicos) Identificação de condições diversas que podem prejudicar o desempenho dos trabalhadores	Johnson (2019); Verdantix (2018); Wanasinghe <i>et al.</i> (2020)
Mitigação de riscos de exposição a agentes físicos ou químicos no ambiente , tais como: presença de gases, temperatura do ambiente, nível de ruído e luminosidade.	Cavuoto & Megahed, (2018); Johnson (2019); Schall, Seseck, & Cavuoto, (2018); Verdantix (2018).
Promoção da aprendizagem por meio de: Capacitação durante execução de atividades no trabalho Feedback sobre os procedimentos adotados Orientações em tempo real para execução de tarefas complexas Reforços positivos sobre o cumprimento dos procedimentos de segurança	Ahn <i>et al.</i> , 2019; Johnson (2019); Verdantix (2018)
Saúde dos trabalhadores , em aplicações voltadas ao: Monitoramento de frequência cardíaca para detectar, identificar e diagnosticar fadiga física Monitoramento da saúde mental dos trabalhadores	Chen <i>et al.</i> (2018); Ahn <i>et al.</i> (2019)

Fonte: elaboração própria.

A literatura sobre o assunto aponta várias recomendações e requisitos para a implementação de *wearables* no ambiente de trabalho. Baseando-se nos trabalhos de Chen *et al.* (2018) e Motti *et al.* (2015), sugerem-se considerar os seguintes aspectos, dentre outros: realizar a coleta e o monitoramento de dados por períodos limitados e para responder a uma pergunta bem definida (por exemplo, na implementação de uma nova tarefa), fácil interação, confiabilidade, privacidade de dados (forneça aos funcionários informações detalhadas sobre como os dados serão ou não usados), interfaces personalizadas (considerando a experiência do usuário), não usar os sensores vestíveis para monitoramento de produtividade (limite sua aplicação à segurança e ao bem-estar), analisar as percepções do usuário antes, durante e depois da introdução dos sensores.

3 MÉTODO

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem quantitativa e qualitativa, de natureza exploratória e descritiva. Como estratégia de pesquisa foi realizado um *survey* online sobre a adoção de novas tecnologias (i.e. *wearables*) em empresas da indústria petrolífera, que atuam em exploração e produção de óleo e gás na costa marítima brasileira. O público-alvo foi definido a partir do número de trabalhadores acessíveis, sendo 297 que

trabalham em escritório, 150 que trabalham em dois navios-sonda e 100 que trabalham em uma unidade de produção (FPSO - *Floating Production Storage and Offloading*). Este trabalho foi realizado no âmbito de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) entre universidade-empresa. Neste artigo são apresentados os resultados iniciais obtidos por meio de um processo de pesquisa com várias etapas que ocorreram entre agosto de 2020 e março de 2021.

Na primeira etapa foram realizadas reuniões entre profissionais da indústria de O&G (empresa) e pesquisadores acadêmicos (universidade), onde foram discutidos o escopo e a finalidade da pesquisa. Paralelamente a essas reuniões, foi feito um levantamento na literatura acadêmica e técnica sobre aspectos do trabalho e da segurança que poderiam ser beneficiados/facilitados por meio da utilização de tecnologias *wearables*. Tais aspectos/cenários foram analisados inicialmente por 5 profissionais da indústria de O&G (empresa) e, a partir dos comentários desses profissionais, foram analisados e revisados por 4 acadêmicos (universidade). De modo a delimitar o escopo, foram considerados e mantidos somente os aspectos aplicáveis ao contexto do estudo, i.e., empresas do setor de O&G. Os principais resultados estão apresentados na seção 4.1 deste artigo.

Com base nos resultados da etapa anterior, na segunda etapa deste estudo, foi elaborado um instrumento de pesquisa (questionário) com perguntas fechadas e abertas, conforme o escopo pré-definido. Na terceira etapa, o instrumento foi analisado por 5 pesquisadores com experiência de pesquisa em empresas do setor de energia, petróleo e gás, e por 4 profissionais da indústria de O&G com perfil similar aos respondentes (público-alvo da pesquisa).

Posteriormente, na quarta etapa, iniciada em outubro de 2020, o link do questionário configurado via *software Qualtrics* foi encaminhado por e-mail para o público-alvo da pesquisa (um total de 547 contatos de e-mails). No início de março de 2021 foi recebido um total de 109 respostas. Destas, 103 respostas completas e válidas. Esse conjunto de respostas forma a base de dados deste estudo. Para análise dos dados (quinta etapa da pesquisa), as 103 respostas às questões fechadas foram exportadas para o *software SPSS*. As principais análises realizadas incluem estatística descritiva, tais como frequência, médias aritméticas, desvio padrão e porcentagem. Análise de cruzamento de variáveis também foi realizada. As respostas às perguntas abertas foram analisadas de modo qualitativo, com apoio do *software NVivo*, a partir de análise, interpretação e síntese dos textos escritos pelos participantes da pesquisa.

4 PRINCIPAIS RESULTADOS

4.1. Aplicabilidade e viabilidade da adoção de *wearables* na indústria de O&G: Estudo qualitativo inicial

Para examinar as potenciais contribuições que tecnologias *wearables* podem trazer para a segurança no trabalho e nas operações de exploração e produção de O&G, foi construído um quadro analítico fundamentado na literatura técnico científica e na percepção de profissionais atuantes na indústria de O&G. Foram identificadas algumas das principais aplicabilidades de tecnologias *wearables* que são percebidas como viáveis de serem adotadas na indústria de O&G. No Quadro 2 são apresentados os possíveis cenários (agrupados em categorias de análise) e uma síntese extraída das opiniões dos profissionais da indústria de O&G sobre a viabilidade para o estudo e a adoção de *wearables* nos cenários correspondentes.

Quadro 2. Viabilidade para o estudo e a adoção de *wearables* na indústria de O&G: análise qualitativa

Cenários nos quais <i>wearables</i> podem ser aplicáveis (categorias de análise)	Viabilidade e Aplicabilidade na indústria de O&G (síntese dos comentários dos profissionais)
Monitoramento de condições de saúde do trabalhador Condições de fadiga (padrões de movimento corporal, sonolência e postura); Nível de stress (condições psicológicas, considerando análise de sinais fisiológicos EEG, PPG, EDA, ST etc.).	Iniciativas desta natureza já têm sido discutidas há um bom tempo na indústria, contudo, esbarram nas relações de confiança entre empresas e trabalhadores. Deve-se considerar questões de bioética para não cair em desvios do propósito original do uso destes dados, bem como evitar disputas trabalhistas. Ainda não está claro se as vantagens de iniciativas com esse viés superam os seus riscos para as empresas do setor.
Prevenção de doenças musculoesqueléticas: Dados sobre postura, esforço repetitivo, esforço físico, repetição e vibração	O estudo destes aspectos se alinha com a análise de ambiente e procedimentos de trabalho que afetam segurança e produtividade, não se limitando à ótica ocupacional. Deve-se ter redobrada atenção para não incorrer nos riscos e questões relativos à bioética. Por isso, há várias aspectos impeditivos e que dificultam a realização e aplicação de estudos com essa abordagem.
Exposição a agentes físicos ou químicos no ambiente: Presença de gases, temperatura do ambiente, nível de ruído, luminosidade	Este enfoque foi apontado como algo relevante para ser estudado mais amplamente na indústria de O&G e não foram identificados aspectos impeditivos/dificultadores na aplicação de tecnologias <i>wearables</i> que auxiliem nas iniciativas descritas.
Alertas de riscos: Acesso a áreas não autorizadas; Alertas de proximidade a equipamentos; Alertas sobre as condições dos equipamentos e das instalações/ infraestrutura; Identificação ou prevenção de queda (de objetos e trabalhadores).	Este enfoque também foi apontado como algo relevante para ser estudado mais amplamente na indústria de O&G. Um dos especialistas sugeriu a utilização de drones como tecnologia de apoio neste cenário, uma vez que se trata de uma tecnologia relativamente barata e com alto potencial de benefícios.
Coordenação e execução do trabalho: Agilidade de registro de não conformidades; Análise de tarefas conflitantes executadas no mesmo local; Atualização de cronogramas e planos de trabalho; Comunicação entre os membros de equipe; Localização em tempo real; Permissão para trabalho digitalizada*.	Esta categoria (cenário de aplicação) foi apontada como de alto interesse gerencial. Percebem que já existem algumas iniciativas na indústria em que se busca a aplicação de novas tecnologias digitais com esse propósito, mas, em geral, elas esbarram em dificuldades de alinhamento estratégico entre a área da TI (tecnologia da informação) e as áreas operacionais. Por isso, são relevantes e necessários estudos que abordem tais questões.
Promoção da aprendizagem:	A adoção de <i>wearables</i> com este enfoque tem potencial de contribuir também com o desenvolvimento e realização das atividades/tarefas e treinamentos, como também na

<p>Capacitação durante execução de atividades no trabalho (treinamentos <i>on the job</i>), p.ex. via uso de realidade virtual; <i>Feedback</i> sobre os procedimentos adotados (p.ex. informações identificando os pontos falhos e os pontos corretos na execução de tarefas); Orientações em tempo real de tarefas complexas; Reforços positivos sobre o cumprimento dos procedimentos de segurança.</p>	<p>aprendizagem individual, de equipes e na aprendizagem da organização como um todo. Estudos que explorem e examinem este enfoque foram apontados como algo viável e relevante para a indústria.</p>
---	---

*Nota: sugerido por profissionais participantes do estudo.

Para a seguinte etapa desta pesquisa foram considerados e mantidos somente os aspectos aplicáveis e viáveis de serem estudados, visando a adoção de *wearables* no contexto de O&G. Tais aspectos (categorias de análise), segundo a ordem de que foram apontados, são: (i) Exposição a agentes físicos ou químicos no ambiente; (ii) Alertas de riscos; (iii) Coordenação e execução do trabalho; e (iv) Promoção da aprendizagem. Duas das categorias analisadas não foram incluídas no escopo do estudo via questionário (“monitoramento de condições fisiológicas” e “prevenção de doenças musculoesqueléticas”): de acordo com os profissionais participantes desta análise, os desafios e riscos a superar com a aplicação de tecnologias *wearables* nestes dois enfoques são maiores do que os potenciais benefícios para as empresas do setor de O&G. Este quadro analítico foi utilizado para delimitar o escopo da pesquisa e a estruturação do questionário (posteriormente respondido por trabalhadores da indústria de O&G). Os principais resultados decorrentes estão descritos a seguir.

4.2. Potenciais aplicabilidades de tecnologias *wearables* na promoção da segurança na indústria de O&G: resultados do *survey*

Inicialmente nesta seção são apresentadas as principais características demográficas e funcionais dos participantes do *survey*. Do total de 103 questionários respondidos, 91 dos respondentes declararam ser do gênero masculino (88%), e 12% do feminino. Essa representação é comum na indústria de O&G, onde há predominância de homens tal como indicam estudos anteriores (p.ex. Mittal, Dholakia, Han, & Dayal, 2015). Do total de 103 participantes da pesquisa, a maioria atua em unidades *offshore* (69%) e 31% trabalha em escritório (sendo que 14 deles desenvolvem atividades em contato direto com unidades *offshore*). Também observou-se que dos 71 respondentes que atuam em unidades *offshore* (perfuração e produção de O&G), 44 deles têm mais de 10 anos de experiência nessa indústria. Dos 103 respondentes, mais da metade (65%) embarcam em unidades *offshore* mais de 5 vezes por ano, e 62% possuem formação em curso superior (dentre os quais, 24 possuem Especialização / Pós-Graduação / MBA e 14 possuem título de mestrado).

O gênero dos respondentes predominantemente masculino reflete uma característica da própria indústria de O&G, onde a atuação de mulheres ainda é baixa. Por outro lado, a maioria dos participantes possui alta experiência na indústria (mais de 10 anos) e formação acadêmica de nível superior. Considerando que grande parte das aplicabilidades de tecnologias digitais, i.e. *wearables*, são pensadas inicialmente para o contexto *offshore*, conhecer a percepção dos profissionais que atuam principalmente em unidades *offshore* (que é a maioria neste estudo) é um aspecto relevante para o entendimento da adoção e potencialidades dessas tecnologias na indústria de O&G. As principais descobertas estão detalhadas a seguir.

Somente 42% dos respondentes afirmam utilizar algum tipo de *wearables*. Os mais citados foram: pulseiras (*smartbands*), relógios (*smartwatches*), detector de gás (*wearable gas sensor & detector*), óculos de realidade virtual (óculos VR) e fones (*headsets*). O uso desses dispositivos foi ilustrado por um dos participantes, assim: “pensando do ponto de vista da pulseira de monitoração do sono, ela me ajuda a perceber quando estou dormindo pouco e me movimentado pouco (...) de modo a ficar mais descansado(a) e disposto(a) para exercer meu trabalho com mais foco”. Quando analisadas as respostas por local de trabalho, percebe-se que cerca da metade dos trabalhadores que atuam nas unidades *offshore* – seja nos navios-sonda ou no PFSO – tem experiência com a utilização de *wearables*. A maioria do pessoal de escritório (24 dos 32 respondentes) não utiliza essas tecnologias.

A figura 1 mostra as potenciais aplicabilidades de tecnologias *wearables* na promoção da segurança nas operações da indústria de óleo e gás. Os resultados indicam que grande parte dos respondentes concorda totalmente ou parcialmente que a adoção de *wearables* pode contribuir para os aspectos listados (Figura 1).

Dentre os quatro blocos de perguntas, quando analisado o potencial de que “*wearables* podem contribuir com a segurança promovendo a aprendizagem”, do total de respostas uma média de 12,8% dos respondentes não soube responder. Considerando as respostas somadas das pontuações 5 e 4 (concordância total ou parcial, 75,7%) os itens que se destacam são: “reforços positivos sobre o cumprimento dos procedimentos de segurança” e “orientações em tempo real de tarefas complexas”. Esses resultados sugerem que há uma percepção de que *wearables* podem contribuir com a segurança ao promover a aprendizagem (*learning by doing*) durante capacitação *on the job*, execução do trabalho e atividades complexas, e realização de procedimentos de segurança baseado no que dá certo (destacando os acertos ao invés dos erros). Embora haja um potencial relevante para utilização de *wearables* que promovam a aprendizagem nos níveis de indivíduo, equipes e organização/empresa, tais aplicabilidades não são tão altamente percebidas como os demais itens/blocos avaliados no questionário (Figura 1).

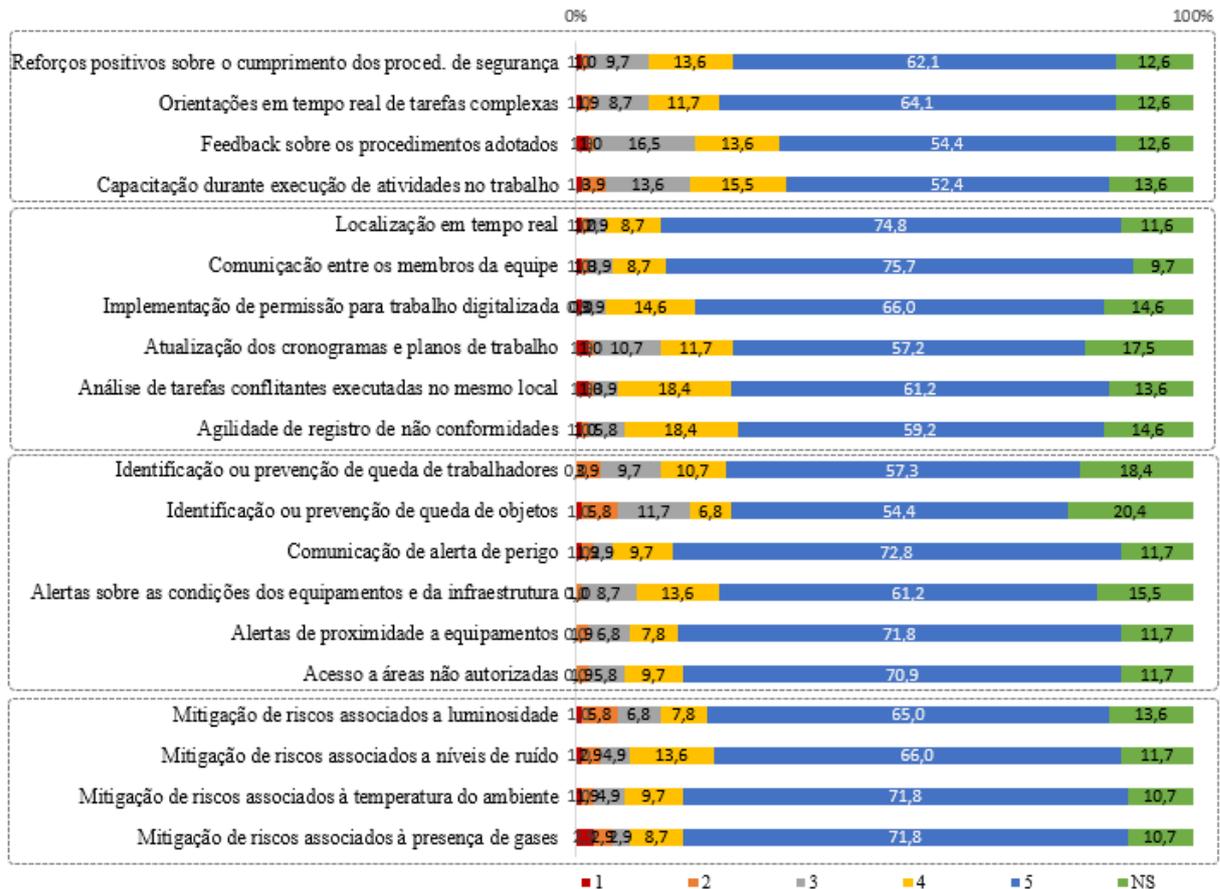


Figura 1. Aplicabilidades percebidas com a adoção de wearables nas operações da indústria de óleo e gás.

Fonte: elaboração própria

Grande parte dos respondentes concordam que a adoção de wearables tem potencial de promover a segurança na indústria de O&G, no que diz respeito às categorias de análise apresentadas. Os resultados apontam que os participantes deste estudo percebem e concordam que este tipo de tecnologia digital (wearables) possui múltiplas aplicabilidades no que diz respeito à mitigação de riscos de exposição a agentes físicos ou químicos no ambiente, à emissão de alertas de riscos (principalmente em situações de perigos), à coordenação e execução do trabalho (com aplicações para “localização em tempo real” e “comunicação entre os membros da equipe”), e à promoção da aprendizagem por meio de “orientações em tempo real de tarefas complexas”. As perguntas fechadas compostas por afirmações sobre aplicabilidades de wearables, foram seguidas por uma pergunta aberta (de resposta opcional), onde os respondentes podiam fazer comentários gerais e/ou específicos. Alguns dos comentários apontaram para aplicabilidades de wearables listadas no questionário, como sendo relevantes para o seu trabalho e para a promoção da segurança nas operações de exploração e produção de O&G. Outros apontaram para outras aplicabilidades não listadas e para questões/observações gerais.

Embora as potenciais aplicabilidades incluídas no questionário (perguntas fechadas) não tenham incluído questões relativas à saúde física e psicológica dos trabalhadores, alguns dos respondentes indicaram como relevante a adoção de *wearables* para monitoramento e acompanhamento de condições de fadiga (p.ex. sonolência) e nível de estresse (p.ex. sinais que levam ao *burnout*). De acordo com um dos respondentes, “além das pulseiras que ajudam a monitorar o sono, por exemplo, se existissem pulseiras para ajudarem as pessoas a monitorarem o nível de stress ou cansaço durante o trabalho, poderia emitir alguns alertas de descanso ou até mesmo alerta de que os batimentos cardíacos ou a pressão estão anormais, níveis de estresse. O foco seria a prevenção do *burnout*.” Também alguns participantes chamaram a atenção para a importância da confidencialidade desses tipos de informações. Conforme um dos respondentes, uma potencial aplicabilidade de *wearables* poderia ser a “identificação de padrão de comportamento distinto ao habitual (frequência cardíaca, stress, etc.) de forma a alertar a própria pessoa de sua condição atípica e a necessidade de repensar seu estado geral em um determinado momento, mantidas as questões de confidencialidade e privacidade do indivíduo”. Foi sugerido utilizar *wearables* para monitoramento e predição de condições fisiológicas especificamente para profissionais que estivessem realizando atividades críticas (espaço confinado, trabalho em altura, mergulho, etc.)... “o dispositivo poderia passar as informações em tempo real e realizar predições quanto a algum mal súbito, por exemplo”. Outra aplicabilidade apontada foi a realização de auditorias em unidades operacionais (unidades *offshore*) por meio de tecnologias *wearables*. Dispositivos de realidade virtual, por exemplo, poderiam contribuir para auditorias sem que haja a necessidade de exposição dos auditores aos riscos de uma unidade operacional. Por outro lado, segundo um dos respondentes, do ponto de vista operacional da indústria de O&G, algumas aplicabilidades mencionadas no questionário parecem difíceis de serem implementadas com a tecnologia atual de óculos virtual e pulseiras eletrônicas. No futuro poderá haver dispositivos adequados para essa indústria, mas atualmente os dispositivos e sensores utilizados não são *wearables*.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura sobre o uso de *wearables* na indústria de O&G ainda é escassa. Embora alguns estudos empíricos tenham destacado as oportunidades do uso destes dispositivos, esses estudos também apontam preocupações relacionadas a privacidade, a segurança dos dados, a eficiência e precisão dos equipamentos e ao custo-benefício.

Analisando os cenários de aplicação prospectados neste estudo é possível visualizar vantagens e características promissoras para a adoção de tecnologias *wearables* que têm

potencial de promover a segurança operacional na indústria de O&G. Sugere-se que tais aspectos sejam analisados mais profundamente em futuros estudos. Dentre os cenários mais promissores para a aplicação de *wearables*, de acordo com os resultados deste estudo, destacaram-se a comunicação entre os membros da equipe e a localização dos trabalhadores em tempo real. Estes resultados corroboram a indicação de Johnson (2019) de que dentre os objetivos para a aplicação de *wearables* a comunicação com os trabalhadores envolvendo orientações e alertas estão entre os principais objetivos das organizações. A autora enfatiza que a capacidade de comunicação bidirecional e a detecção de localização são úteis em qualquer setor que emprega trabalhadores remotos, como é o caso das plataformas *offshore* de exploração e produção de O&G. Os *wearables* tem potencial de assumir um papel relevante no futuro dessa indústria, tendo em vista as adaptações e os avanços tecnológicos adequados e necessários para serem utilizados em ambientes hostis e com altos requisitos de segurança, como são as sondas de perfuração e as plataformas de produção de O&G em águas profundas. Há, portanto, avanços necessários no que diz respeito ao desenvolvimento atual de sensores integrados a *wearables* que sejam leves e efetivamente conectados a equipamentos, que sejam laváveis e, principalmente, que sejam confiáveis, seguros e eficientes em ambientes hostis e altamente regulamentados da indústria de O&G. É importante também mencionar que a adoção de quaisquer tecnologias digitais, incluindo *wearables*, neste contexto, requer que os seus benefícios ocupem o segundo lugar em relação à segurança operacional (que deve ocupar sempre o primeiro lugar), considerando continuamente questões éticas de confidencialidade e privacidade dos trabalhadores. Utilizar *wearables* para conhecer e monitorar o que está acontecendo com a saúde do trabalhador que executa atividades de alto risco, por exemplo, pode ser algo muito relevante e valioso para a gestão das operações nessa indústria, porém é imprescindível envolver esses trabalhadores desde o *design*, as definições de configuração e uso desses dispositivos.

A promoção de segurança em um setor estratégico para o Brasil como a indústria de O&G deve considerar os dispositivos adequados aos cenários mais promissores, levando em consideração as características culturais e legais próprias do país. Os *wearables* podem ser aplicados para contribuir com a segurança operacional e o fortalecimento da cultura de segurança em indústrias de alto risco. O aprofundamento desta pesquisa com mais respondentes, comparação de amostras, bem como uma colaboração ainda mais estreita entre a academia e a indústria para desenvolver casos de aplicação são recomendados para revelar e analisar o potencial dos cenários de aplicação qualificados pelos respondentes e seu custo-benefício para a indústria de O&G.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasil (ANP) associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de P,D&I – Regulamento n° 03/2015 (processo: 2019/00105-3).

REFERÊNCIAS

- Adjiski, V., Despodov, Z., Mirakovski, D., & Serafimovski, D. (2019). System architecture to bring smart personal protective equipment wearables and sensors to transform safety at work in the underground mining industry. *Rudarsko Geolosko N. Zbornik*, 34(1), 37-44.
- Ahn, C. R., Lee, S., Sun, C., Jebelli, H., Yang, K., & Choi, B. (2019). Wearable Sensing Technology Applications in Construction Safety and Health. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145 (11), 03119007.
- Cavuoto, L., & Megahed, F. (2018). *Advancing Safety Surveillance Using Individualized Sensor Technology (ASSIST): Final Progress Report American Society of Safety Professionals (ASSP) Foundation. American Society of Safety Professionals (ASSP) Foundation*. Retrieved from www.assp.org
- Chen, T., Sesek, R., Jones-Farmer, A., Rigdon, S., Esfahani, E., & Sun, H. (2018). Advancing Safety Surveillance Using Individualized Sensor Technology (ASSIST): Final Progress Report (p. 1–26). *American Society of Safety Professionals (ASSP) Foundation*.
- European Commission (2016). Smart wearables: Reflection and orientation paper, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Disponível em: http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=50020.
- World Economic Forum (2017). *Digital Transformation Initiative: Oil and Gas Industry. White Paper*. Retrieved from www.weforum.org
- IDC Brasil. (2021). 2021 será ano de crescimento para o mercado de *wearables*. Disponível em <https://bit.ly/39qA8Yu>
- Johson, L. (2019). Wearables transforming safety management in high-risk industries. Disponível em <https://bit.ly/39rlhxc>.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0* (p. 1–82). National Academy of Science and Engineering.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- Lu H., Guo L., Azimi M., Huang K. (2019). Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook, *Computers in Industry*, Volume 111, 68-90,
- Lv, Z., Feng, S., Feng, L., & Li, H. (2015). Extending touch-less interaction on vision based wearable device. In *2015 IEEE Virtual Reality Conference* (pp. 231–232). IEEE.
- Mittal, V., Dholakia, U. M., Han, K., & Dayal, A. (2015). Sector-level results from the 2015 Strategy and Corporate Performance in the Energy Industry, (SCOPE) study Rice University JGSB Energy Industry Initiatives Report, Houston.

- Motti, V.G., & Caine, K. (2015). An overview of wearable applications for healthcare: requirements and challenges. In *Adjunct Proceedings of the 2015 ACM international symposium on wearable computers* (pp. 635-641).
- Mukhopadhyay, S. C. (2015). Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 15(3), 1321–1330.
- Nguyen, T., Gosine, R. G., & Warriar, P. (2020). A Systematic review of big data analytics for oil and gas industry 4.0. *IEEE Access*, 8, 61183–61201.
- Niknejad, N., Ismail, W. B., Mardani, A., Liao, H., & Ghani, I. (2020). A comprehensive overview of smart wearables: The state of the art literature, recent advances, and future challenges. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 90(February), 103529.
- Paluch, S., & Tuzovic, S. (2017). Leveraging pushed self-tracking in the health insurance industry: How do individuals perceive smart wearables offered by insurance organization? *Proceedings of the 25th European Conference on Information Systems, ECIS 2017, 2017*, 2732–2743.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*.
- Reid, C. R., Schall, M. C., Amick, R. Z., Schiffman, J. M., Lu, M.-L., Smets, M., Moses, H. R., & Porto, R. (2017). Wearable Technologies: How Will We Overcome Barriers to Enhance Worker Performance, Health, And Safety? *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 1026–1030.
- Richardson, S., & Mackinnon, D. (2017). *Left to their own Devices? Privacy Implications of Wearable Technology in Canadian Workplaces*. Retrieved from <http://www.sscqueens.org/publications/left-to-their-own-devices>
- Schall MC Jr, Sesek RF, Cavuoto LA. (2018). Barriers to the Adoption of Wearable Sensors in the Workplace: A Survey of Occupational Safety and Health Professionals. *Human Factors*. 60(3): 351-362.
- Spender, A., Bullen, C., Altmann-Richer, L., Cripps, J., Duffy, R., Falkous, C., Yeap, W. (2019). Wearables and the internet of things: considerations for the life and health insurance industry. *British Actuarial Journal*, 24(2019), 1–31.
- Streiner, D. L. (2003). Being inconsistent about consistency: When coefficient alpha does and doesn't matter. *Journal of Personality Assessment*, 80(3), 217-222.
- Schwab, K. & Davis, N. (2019). *Aplicando a quarta revolução industrial*. Edipro. São Paulo.
- Swan, M. (2012). Sensor mania! the internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. *Journal of Sensor and Act. Networks*, 1(3), 217-253.
- Swan, M. (2013). The quantified self: Fundamental disruption in big data science and biological discovery. *Big Data*, 1(2), 85–99.
- Verdantix (2018). Smart Innovators: Industrial Wearables. Disponível em: <https://bit.ly/3u8R4L1>
- Wanasinghe, T. R., Gosine R. G., James L. A., Mann G. K. I., Silva O., Warriar P. J. (2020). The Internet of Things in the Oil and Gas Industry: A Systematic Review, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 9, pp. 8654-8673,
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630.