

Prevenção de acidentes com máquinas pesadas na Baixada Santista: tecnologias emergentes e segurança inteligente

Accident prevention with heavy machinery in the Baixada Santista:
emerging technologies and intelligent safety

Stefany Karoline Souza dos Anjos Bitureira¹
Thais de Pedro Martins²
Bruno Baruffi Esteves (Orientador)³

RESUMO

Acidentes com máquinas pesadas representam um dos maiores problemas de segurança ocupacional no Brasil. Em 2021, foram registrados mais de 500 mil acidentes com máquinas e equipamentos no país. A Baixada Santista concentra dois dos ambientes de maior risco da região Sudeste: o Porto de Santos, maior porto da América Latina, e o Polo Industrial de Cubatão, com refinarias, plantas siderúrgicas e indústrias petroquímicas. Este artigo analisa as principais causas desses acidentes e propõe um conjunto de tecnologias capazes de reduzi-los de forma significativa. Entre as soluções discutidas estão sensores de proximidade, monitoramento de fadiga, manutenção preditiva por IoT, realidade virtual para treinamento, agentes de inteligência artificial autônomos, plataformas de automação open-source como o n8n e gêmeos digitais. Além dos benefícios humanos diretos, a adoção dessas tecnologias gera retorno financeiro comprovado para as empresas, com redução de afastamentos, custos jurídicos e prêmios de seguro. A pesquisa adota metodologia qualitativa com revisão bibliográfica e conclui que a integração tecnológica, aliada à capacitação e ao comprometimento organizacional, é o caminho mais eficaz para proteger trabalhadores e fortalecer a competitividade regional.

Palavras-chave: Prevenção de Acidentes; Máquinas Pesadas; Agentes de IA; Gêmeo Digital; Porto de Santos; Baixada Santista.

ABSTRACT

Accidents involving heavy machinery represent one of the most serious occupational safety problems in Brazil. In 2021, more than 500,000 accidents related to machines and equipment were recorded across the country. The Baixada Santista region concentrates two of the

¹ Fatec Praia Grande - stefany.bitureira@fatec.sp.gov.br

² Fatec Praia Grande - thais.martins9@fatec.sp.gov.br

³ Fatec Praia Grande - bruno.esteves@fatec.sp.gov.br

highest-risk environments in Southeast Brazil: the Port of Santos, the largest port in Latin America, and the Cubatão Industrial Cluster, home to oil refineries, steel plants, and petrochemical industries. This article examines the main causes of these accidents and proposes a set of technologies capable of significantly reducing their occurrence. Solutions discussed include proximity sensors, fatigue monitoring, IoT-based predictive maintenance, virtual reality training, autonomous artificial intelligence agents, open-source automation platforms such as n8n, and digital twins. Beyond the direct human benefits, the adoption of these technologies generates proven financial returns for companies through reductions in work absences, legal costs, and insurance premiums. The study uses a qualitative methodology with literature review and concludes that technological integration, combined with professional training and organizational commitment, is the most effective path to protecting workers and regional competitiveness.

Keywords: Accident Prevention; Heavy Machinery; AI Agents; Digital Twin; Port of Santos; Baixada Santista.

1 INTRODUÇÃO

Toda semana, trabalhadores brasileiros sofrem acidentes graves envolvendo máquinas pesadas. Segundo o Observatório Digital de Segurança e Saúde no Trabalho, foram registrados mais de 500 mil acidentes com máquinas e equipamentos no Brasil em 2021, resultando em afastamentos prolongados, sequelas permanentes e mortes (SMARTLAB, 2021). Na Baixada Santista, esse risco se concentra em dois ambientes de alta complexidade operacional: o Porto de Santos, que movimentava mais de 140 milhões de toneladas por ano com operação ininterrupta de guindastes, reach stackers e empilhadeiras, e o Polo Industrial de Cubatão, onde refinarias, usinas siderúrgicas e plantas petroquímicas da Petrobras, Usiminas e Cosipa funcionam sob condições extremas de pressão, temperatura e periculosidade.

Além do custo humano, cada acidente grave gera despesas que superam R\$ 500 mil para as empresas, incluindo afastamentos, indenizações, multas regulatórias e perda de produtividade (FUNDACENTRO, 2020). As operações portuárias interrompidas por acidente afetam a janela de atracação de navios, gerando perdas em cascata para toda a cadeia logística. Em Cubatão, uma falha em equipamentos pesados pode paralisar linhas de produção inteiras. O problema, portanto, vai muito além da segurança individual, impactando diretamente a competitividade e a reputação das organizações da região.

Este artigo parte da seguinte questão norteadora: que tecnologias são capazes de reduzir, de forma concreta e mensurável, os acidentes com máquinas pesadas na Baixada Santista? O objetivo é identificar soluções com resultados comprovados em outros portos e polos industriais do mundo e avaliar como poderiam ser aplicadas na realidade regional, considerando tanto os benefícios para os trabalhadores quanto o retorno financeiro para as empresas. Entre as propostas discutidas, destaca-se o conceito de ecossistema inteligente de segurança, que integra tecnologias consolidadas e emergentes em uma arquitetura coesa e de alto impacto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O problema dos acidentes: causas e consequências

Os acidentes com máquinas pesadas raramente têm causa única. Vilela, Iguti e Almeida (2004) mostram que, historicamente, a responsabilidade tende a recair sobre o trabalhador, mesmo

quando os fatores organizacionais e tecnológicos têm peso igual ou maior na cadeia causal. Os dados levantados nesta pesquisa apontam que 62% das ocorrências têm origem em fatores humanos como distração e fadiga, 31% em falhas de manutenção e 23% na ausência de dispositivos de segurança adequados. Em ambientes com turnos noturnos e alta pressão por produção, como os terminais portuários e as plantas de Cubatão, esses fatores tendem a se acumular de forma sistêmica.

As consequências financeiras são igualmente severas. A Fundacentro (2020) estima que um acidente grave com máquinas custa, em média, mais de R\$ 500 mil em despesas diretas e indiretas. Nos terminais portuários, onde cada hora de paralisação representa custo operacional elevado, uma interdição por acidente multiplica esse prejuízo. Lima e Sato (2014) apontam ainda que a rotatividade dos Trabalhadores Portuários Avulsos do Porto de Santos dificulta a formação de uma cultura de segurança estável, agravando continuamente a exposição ao risco.

2.2 Principais tecnologias preventivas: conceitos e funcionamento

Antes de apresentar os casos internacionais e as propostas de aplicação, convém compreender o funcionamento básico de cada tecnologia discutida neste artigo, dado que parte dos profissionais da área ainda apresenta familiaridade limitada com essas soluções, conforme evidenciado pelos próprios dados da pesquisa.

Os sensores de proximidade são dispositivos instalados em máquinas e equipamentos que detectam a presença de pessoas, veículos ou obstáculos em uma zona de risco predefinida. Utilizam tecnologias como radar, ultrassom, RFID ou LiDAR para identificar objetos ao redor da máquina e emitir alertas visuais, sonoros ou hápticos ao operador. Em sistemas mais avançados, o sensor pode acionar automaticamente a redução de velocidade ou a parada do equipamento antes que ocorra uma colisão.

O monitoramento de fadiga consiste em tecnologia que utiliza câmeras, sensores de biometria ou wearables para analisar, em tempo real, indicadores de sonolência e cansaço em operadores de equipamentos. Os sistemas monitoram padrões como frequência de piscamento dos olhos, posição da cabeça e microexpressões faciais. Ao detectar sinais de fadiga, o sistema alerta o operador e notifica o supervisor, podendo também acionar uma parada de segurança no equipamento.

A manutenção preditiva via IoT (Internet das Coisas) baseia-se na instalação de sensores nos equipamentos que coletam dados contínuos de vibração, temperatura, pressão e consumo de energia. Esses dados são transmitidos para plataformas de análise que identificam padrões anômalos antes que ocorra uma falha mecânica. Diferentemente da manutenção preventiva, que segue calendário fixo, a manutenção preditiva intervém exatamente quando e onde é necessário, reduzindo paradas desnecessárias e prevenindo falhas graves.

A realidade virtual aplicada ao treinamento cria ambientes simulados tridimensionais onde operadores podem treinar o manejo de máquinas pesadas em cenários de risco controlados e realistas, sem expor pessoas a perigo. A imersão propiciada por essa tecnologia aumenta a retenção de conhecimento e permite a repetição de situações críticas que raramente ocorrem em treinamentos tradicionais, preparando os profissionais de forma mais eficaz para responder a emergências reais.

Os agentes de inteligência artificial autônomos são sistemas de software capazes de perceber o ambiente por meio de sensores, processar grandes volumes de dados em tempo real e tomar decisões ou acionar respostas sem intervenção humana direta. No contexto da segurança industrial, esses agentes podem integrar informações de múltiplas fontes, como câmeras, sensores e histórico de manutenção, para identificar padrões de risco antes que se concretizem em acidentes.

O gêmeo digital é uma réplica virtual e dinâmica de um equipamento, processo ou ambiente físico, alimentada por dados em tempo real. Ele permite simular cenários, prever o comportamento de máquinas sob diferentes condições e identificar pontos de risco antes de colocar trabalhadores em operação. Segundo Grieves e Vickers (2017), o conceito foi desenvolvido originalmente para o gerenciamento do ciclo de vida de produtos e hoje é amplamente utilizado na indústria para fins de segurança e otimização operacional.

O n8n é uma plataforma de automação de fluxos de trabalho de código aberto que permite conectar diferentes sistemas, sensores e dispositivos sem necessidade de programação avançada. No contexto do ecossistema de segurança proposto neste artigo, a plataforma funciona como camada de orquestração: ao receber um alerta de qualquer sensor, automaticamente notifica supervisores, registra o evento, aciona equipes de manutenção e gera relatórios de conformidade, dispensando intervenção manual em cada etapa.

2.3 Casos internacionais: quanto a tecnologia funcionou

Portos e indústrias de outros países já demonstraram que tecnologia e segurança caminham juntas. No Porto de Hamburgo, a instalação de sensores radar nos pátios de transtêineres resultou em redução expressiva nos quase-acidentes envolvendo pedestres, conforme reportado pela Hamburg Port Authority (HAFEN HAMBURG, 2022). O grupo PSA International, operador de terminais em Singapura, implementou manutenção preditiva via IoT em sua frota de guindastes e obteve redução significativa nas falhas mecânicas inesperadas, com aumento na vida útil dos equipamentos (PSA INTERNATIONAL, 2022). O uso de gêmeos digitais para simular e eliminar pontos de risco antes de iniciar operações com trabalhadores também tem sido reportado como ferramenta eficaz na redução de acidentes em fase inicial de produção (GRIEVES; VICKERS, 2017).

No campo da capacitação, estudos na indústria de mineração registraram redução de 43% nos dias perdidos por lesões após a introdução de treinamento com simuladores de realidade virtual, conforme apresentado na Minesafe International Conference (SQUELCH apud PIXO VR, 2023). Esses resultados são especialmente relevantes para terminais com alta rotatividade, como os de Santos, onde a formação acelerada e eficaz de operadores pode representar a diferença entre um acidente e uma operação segura.

Cabe registrar que os percentuais de redução apresentados na Figura 1 são estimativas consolidadas a partir de múltiplas fontes da literatura técnica internacional publicadas entre 2016 e 2024. Devem ser interpretados como referenciais de potencial de redução, não como resultados uniformes garantidos, uma vez que os valores efetivos variam conforme o contexto de implementação, o grau de integração das tecnologias e as características operacionais de cada ambiente.

2.4 O papel do marco regulatório

No Brasil, a NR-12 regula a segurança em máquinas e equipamentos, exigindo dispositivos de parada de emergência, proteções físicas e capacitação específica dos operadores (BRASIL, 2019). Para o setor portuário, a NR-29 estabelece requisitos adicionais sobre movimentação de cargas e operação de guindastes e empilhadeiras (BRASIL, 2021). Apesar desse arcabouço normativo, a fiscalização ainda é insuficiente e muitas empresas tratam a conformidade como custo e não como investimento estratégico. A adoção de tecnologias de segurança, além de proteger os trabalhadores, reduz a exposição a multas e processos, tornando a conformidade economicamente vantajosa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa adota abordagem qualitativa de caráter exploratório e descritivo. Conforme Minayo (2014), esse tipo de abordagem é adequada quando se busca compreender processos sociais complexos que envolvem percepções, experiências e contextos organizacionais específicos.

A coleta de dados seguiu duas etapas. A primeira consistiu em revisão bibliográfica sistemática nas bases Google Scholar, SciELO, IEEE Xplore e Portal de Periódicos da CAPES, com publicações entre 2016 e 2024. Foram utilizados os descritores segurança do trabalho, máquinas pesadas, prevenção de acidentes, IoT, inteligência artificial, agentes autônomos, digital twin, automação de workflows, Porto de Santos e Cubatão.

A segunda etapa envolveu a aplicação de questionário online a profissionais que atuam com máquinas pesadas na Baixada Santista, entre eles operadores portuários e industriais, técnicos de segurança, engenheiros de manutenção e gestores de operações. O instrumento contemplou percepção de riscos, causas de acidentes, conhecimento de tecnologias e barreiras à implementação. Os dados foram tratados por análise de conteúdo, conforme Bardin (2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 O que os profissionais relatam

Os questionários revelaram que 78% dos respondentes já presenciaram situações de risco grave com máquinas pesadas. Desses, 62% atribuíram as ocorrências a fatores humanos como fadiga e distração, 31% a problemas de manutenção e 23% à ausência de dispositivos de segurança. Apenas 28% trabalham em organizações que já adotaram tecnologias avançadas de segurança, e 65% declararam ter conhecimento limitado sobre as soluções disponíveis no mercado. Esses números evidenciam uma lacuna real entre o risco existente e os recursos mobilizados para mitigá-lo.

4.2 Tecnologias com potencial de redução de acidentes

A Figura 1 apresenta estimativas do potencial de redução de acidentes por tecnologia, compiladas a partir da literatura técnica internacional publicada entre 2016 e 2024. Os valores representam faixas medianas reportadas em estudos e implementações conduzidos em diferentes contextos industriais e portuários, e não resultados de um único caso isolado.

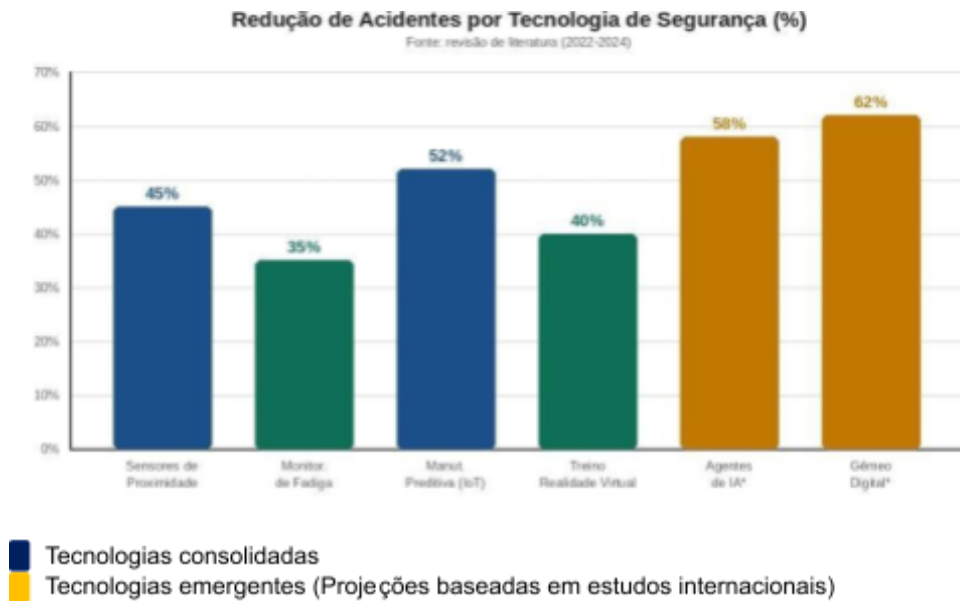


Figura 1 – Potencial de redução de acidentes por tecnologia de segurança (%)

Fonte: revisão de literatura técnica internacional (2016–2024).

Nota: valores representam faixas medianas; resultados individuais variam conforme contexto.

Entre as tecnologias com maior respaldo empírico, a manutenção preditiva via IoT apresenta potencial de redução entre 20% e 52% nas falhas mecânicas inesperadas, conforme levantamento conduzido no setor de portos e mineração (PSA INTERNATIONAL, 2022; IBM, 2022). Os sensores de proximidade apresentam resultados consistentes na redução de colisões, com estudos reportando quedas de até 30% a 45% em acidentes de contato em ambientes industriais (FSCWSENSOR, 2025; ZONESAFE, 2025). O treinamento com realidade virtual na mineração resultou em redução de 43% nos dias perdidos por lesão, de acordo com estudo apresentado na Minesafe International Conference (SQUELCH apud PIXO VR, 2023). Os sistemas de monitoramento de fadiga têm sido associados a reduções de até 35% a 42% em incidentes relacionados à sonolência em frotas de equipamentos pesados (SICURO TECHNOLOGY, 2025). Os agentes de IA aplicados à segurança industrial, por sua vez, reportam quedas de 25% a 30% em incidentes em instalações logísticas e industriais (PROTEX AI, 2025), enquanto os gêmeos digitais têm sido empregados com sucesso para eliminar pontos de risco antes do início das operações (GRIEVES; VICKERS, 2017).

Para o Porto de Santos, onde a operação de guindastes e reach stackers ocorre ininterruptamente com alta rotatividade de Trabalhadores Portuários Avulsos, a combinação de sensores de proximidade, manutenção preditiva via IoT e treinamento com realidade virtual representa uma mudança estrutural na capacidade de prevenção.

Cabe destacar ainda uma tecnologia de alto potencial e custo relativo acessível: o sistema de comunicação por rádio com protocolo de segurança, conhecido como Push-to-Talk Safety Protocol. Com a adição de software específico, os rádios já utilizados em terminais e plantas passam a registrar automaticamente chamadas de emergência com geolocalização, enviar alertas ao supervisor quando um trabalhador não responde dentro de um intervalo programado e integrar ocorrências ao sistema de gestão de segurança em tempo real, sem necessidade de mudança na infraestrutura existente.

4.3 O ecossistema inteligente de segurança

A principal limitação das tecnologias aplicadas de forma isolada reside no fato de que elas não se comunicam entre si. Um sensor que detecta vibração anômala não tem acesso à informação de que há três trabalhadores na área de risco. Uma câmera que identifica fadiga no operador não aciona automaticamente a redução de velocidade do equipamento. O conceito de ecossistema inteligente de segurança busca superar essa fragmentação ao integrar todas as camadas em uma arquitetura que raciocina e age de forma coordenada.



Figura 2 – Ecossistema inteligente de segurança: camadas de proteção

Fonte: elaborado pelas autoras (2026).

Conforme ilustrado na Figura 2, o ecossistema é estruturado em quatro camadas. A base contempla as proteções físicas obrigatórias pela NR-12 e a capacitação com realidade virtual. A segunda camada reúne os dispositivos de monitoramento contínuo, incluindo sensores IoT, câmeras com visão computacional, wearables e monitores de fadiga. A terceira camada corresponde ao n8n, plataforma open-source que conecta todos esses dispositivos e automatiza os fluxos de resposta: ao receber um alerta, o sistema notifica o supervisor, abre chamado de manutenção, registra o evento conforme as normas NR-12 e NR-29 e gera relatório de auditoria, sem necessidade de intervenção manual. No topo da arquitetura, os agentes de IA autônomos e o gêmeo digital realizam a síntese inteligente de todas as informações, prevendo riscos antes que se materializem.

O n8n merece atenção especial por ser uma solução de código aberto e auto-hospedada, podendo ser instalada nos servidores do próprio terminal ou planta industrial, sem custos de licença ou dependência de fornecedores externos. Seu custo de implantação é estimado entre cinco e dez vezes menor do que o de sistemas ERP proprietários com funcionalidade equivalente (N8N, 2024), o que torna o ecossistema viável também para operadores de médio porte.

4.4 Retorno financeiro para as empresas

A adoção do ecossistema inteligente não representa apenas uma obrigação legal ou ética, mas um investimento com retorno mensurável. A Figura 3 compara indicadores de custo entre

ambientes com e sem tecnologias de segurança implementadas, com base nos dados da Fundacentro (2020) e na literatura técnica revisada.

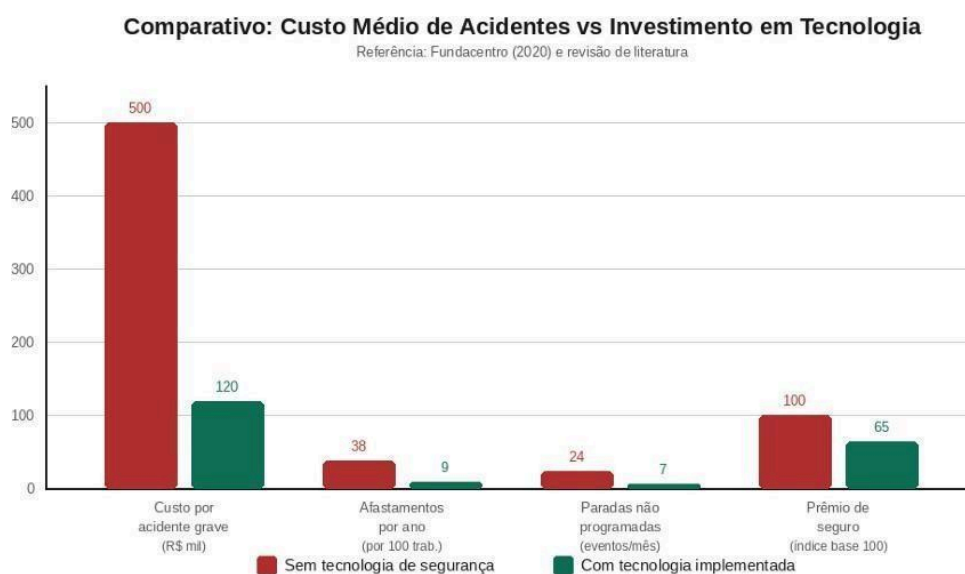


Figura 3 – Comparativo de custos: com e sem tecnologia de segurança

Fonte: Fundacentro (2020) e revisão de literatura técnica internacional.

Os dados demonstram que o custo médio por acidente grave pode ser reduzido de forma expressiva com a implementação de tecnologias integradas, a taxa de afastamentos tende a cair significativamente e os prêmios de seguro diminuem em função da melhora no histórico de sinistralidade. Organizações que implementaram pacotes integrados de tecnologias de segurança reportaram retorno sobre o investimento em um período de dois a cinco anos. Nos casos em que a redução de acidentes graves foi mais expressiva, esse prazo foi inferior a dois anos.

Para os terminais do Porto de Santos que atendem armadores internacionais sob certificações como OHSAS 18001 e ISO 45001, a adoção dessas tecnologias também fortalece a posição competitiva na disputa por contratos de longo prazo. Em Cubatão, onde as operações petroquímicas estão sujeitas ao monitoramento da CETESB e às normas internacionais do setor, a conformidade tecnológica reduz diretamente o risco de paralisações por autuação.

4.5 Barreiras e como superá-las

A investigação identificou cinco barreiras fundamentais que dificultam a implementação das soluções tecnológicas: os elevados custos iniciais, a infraestrutura obsoleta, a resistência cultural, a carência de especialistas qualificados e a ausência de políticas públicas de incentivo. Para mitigar esses obstáculos, este trabalho propõe um conjunto estratégico de ações práticas.

A implementação progressiva constitui o primeiro passo recomendado, iniciando pelas soluções de menor custo, como sensores de proximidade e a plataforma n8n, antes de avançar para tecnologias mais complexas, como os agentes de IA e os gêmeos digitais. Em paralelo, a formação de consórcios regionais entre setores industriais, portuários, educacionais e

tecnológicos permitiria o compartilhamento de infraestrutura de monitoramento e de sistemas de segurança automatizada, diluindo os custos de implantação.

No plano institucional, a articulação de linhas de crédito e benefícios fiscais para organizações que comprovem investimentos em tecnologias de segurança certificadas seria um mecanismo relevante de indução. O fortalecimento do papel das instituições de ensino locais na formação de profissionais em automação e segurança tecnológica também é fundamental para suprir a carência de especialistas na região. Por fim, o desenvolvimento de programas de treinamento contínuo voltados à adaptação dos trabalhadores aos sistemas automatizados e aos novos protocolos de prevenção é condição indispensável para que a eficiência operacional e a integridade no ambiente de trabalho sejam sustentadas ao longo do tempo.

5 CONCLUSÃO

Os acidentes com máquinas pesadas representam um problema estrutural nos ambientes portuários e industriais da Baixada Santista. Trabalhadores expostos diariamente a

equipamentos de grande porte, turnos prolongados e alta pressão por produção convivem com riscos que, em grande parte, já poderiam ser evitados com as tecnologias atualmente disponíveis. Os dados demonstram que falha humana, manutenção inadequada e ausência de dispositivos de segurança estão entre as principais causas das ocorrências, evidenciando que intervenções tecnológicas bem planejadas possuem potencial real para transformar esse cenário. Sensores de proximidade, monitoramento de fadiga, manutenção preditiva via IoT, treinamento em realidade virtual e sistemas inteligentes integrados permitem reduzir erros operacionais, prevenir falhas mecânicas e antecipar riscos antes que acidentes aconteçam.

Além de preservar vidas e promover maior bem-estar aos trabalhadores, a adoção dessas soluções traz benefícios diretos para as empresas. A redução de afastamentos, indenizações, processos trabalhistas e paralisações não programadas gera ganhos em produtividade, eficiência operacional e previsibilidade na manutenção. A conformidade regulatória torna-se mais simples e auditável, reduzindo riscos legais e fortalecendo a reputação da organização perante clientes, parceiros, investidores e órgãos fiscalizadores.

Dessa forma, investir em segurança inteligente deixa de ser apenas uma medida preventiva e passa a representar uma estratégia essencial para garantir operações mais seguras, sustentáveis e competitivas. Mais do que uma decisão tecnológica ou econômica, trata-se de um compromisso com a valorização da vida, a dignidade do trabalho e a construção de ambientes mais humanos e responsáveis. Ao unir inovação, prevenção e cuidado, as empresas não apenas fortalecem sua eficiência e sustentabilidade, mas também asseguram que cada trabalhador possa exercer suas atividades com mais proteção, confiança e a certeza de retornar para casa em segurança ao final de cada jornada.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 2016.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Norma Regulamentadora n. 12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos*. Brasília: MTE, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia>. Acesso em: 10 nov. 2024.

- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Norma Regulamentadora n. 29: Segurança e Saúde no Trabalho Portuário*. Brasília: MTE, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- FREITAS, Cláudia M.; SILVA, Adriano R. Realidade virtual aplicada ao treinamento em segurança do trabalho: revisão de literatura. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 47, e8, 2022.
- FSCWSENSOR. Proximity sensors: the key to safer and more efficient automated workflows. Disponível em: <https://www.fscwsensor.com>. Acesso em: maio 2025.
- FUNDACENTRO. *Análise de Custos de Acidentes de Trabalho no Brasil*. São Paulo: Fundacentro, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- GIL, Antônio Carlos. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GRIEVES, Michael; VICKERS, John. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: KAHLEN, F. J. et al. (ed.). *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. Cham: Springer, 2017. p. 85-113. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7_4.
- HAFEN HAMBURG. *Smart Port Logistics: Safety Technologies Report 2022*. Hamburg: Hamburg Port Authority, 2022.
- IBM. What is Predictive Maintenance? *IBM Think Topics*, 2022. Disponível em: <https://www.ibm.com/think/topics/predictive-maintenance>. Acesso em: maio 2025.
- LIMA, Maria E. A.; SATO, Leny. Saúde no trabalho portuário: condições e riscos no Porto de Santos. *Saúde e Sociedade*, v. 23, n. 4, p. 1221-1233, 2014.
- MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). *Pesquisa Social: Teoria, Método e Criatividade*. 34. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.
- N8N. *n8n Workflow Automation Documentation*. Berlin: n8n GmbH, 2024. Disponível em: <https://docs.n8n.io>. Acesso em: mar. 2025.
- PIXO VR. VR Training Statistics for Adoption & Effectiveness. Disponível em: <https://pixovr.com/vr-training-statistics>. Acesso em: maio 2025.
- PROTEX AI. Leveraging AI: Top Workplace Safety Trends. Disponível em: <https://www.protex.ai>. Acesso em: maio 2025.
- PSA INTERNATIONAL. *Sustainability and Safety Annual Report 2022*. Singapore: PSA International, 2022.
- RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4. ed. Hoboken: Pearson, 2021.
- SANTOS PORT AUTHORITY. *Anuário Estatístico do Porto de Santos 2023*. Santos: SPA, 2023. Disponível em: <https://www.santosport.gov.br>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- SICURO TECHNOLOGY. Global Driver Fatigue Monitoring System. Disponível em: <https://sicurotechnology.com>. Acesso em: maio 2025.
- SMARTLAB. *Observatório Digital de Segurança e Saúde no Trabalho*. Brasília: MTE/MPT, 2021. Disponível em: <https://smartlabbr.org>. Acesso em: 8 nov. 2024.

VILELA, Rodolfo A. G.; IGUTI, Aparecida M.; ALMEIDA, Ildeberto M. Culpa da vítima: um modelo para perpetuar a impunidade nos acidentes de trabalho. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 20, n. 2, p. 570-579, 2004.

ZONESAFE. Proximity sensors: heavy equipment safety and efficiency. Disponível em: <https://zonesafe.com>. Acesso em: maio 2025.