

REDUÇÃO DOS RISCOS OPERACIONAIS ATRAVÉS DA INDÚSTRIA 4.0: UM ESTUDO DOS IMPACTOS DA SIMULAÇÃO NA SEGURANÇA DAS OPERAÇÕES DA LAVRA EM UMA MINERAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO.

Bruno Martins Moreira (UEMG) bruno.moreira@uemg.br
Eduardo Audri Gomides (UEMG) eduardo.1634572@discente.uemg.br
Kele Genifer Rodrigues (UEMG) kele.1653961@discente.uemg.br
Vitor Milagres Santana (UEMG) vitor.1653959@discente.uemg.br
Tulio Silva Ferreira (UEMG) tulio.1693118@discente.uemg.br

Resumo

Em um mercado tão acirrado como este que estamos vivendo na atualidade torna-se determinante que as instituições busquem sempre agir com eficiência e segurança, sem deixar de lado a melhoria contínua e a qualidade dos produtos. Em razão disso, a determinação de cada etapa do processo passa a ser importante para a definição de metodologias e procedimentos, sendo possível por meio do mapeamento dos pontos de riscos de determinadas tarefas realizadas em uma organização. Diante desse cenário, este trabalho teve como objeto a realização de um levantamento de incidentes relacionados a movimentação de material com equipamentos de grande porte em um ambiente de mineração. Sob a ótica da integração entre as possibilidades da indústria 4.0 e as áreas de segurança das organizações, este trabalho teve ainda o objetivo de avaliar o impacto da simulação em operações de caminhões fora de estrada (CFE) CAT777G nas operações de lavra de uma mineradora. Ao constatar que as ocorrências de erros nas simulações diminuíram 86%, foi possível perceber que esses resultados também se refletiram nas operações reais, onde obteve-se uma redução de ocorrências de alta gravidade de 100% no ano de 2022, confirmando a hipótese de que a simulação, em alguns casos, pode ser utilizada como uma poderosa ferramenta de segurança industrial.

Palavras-Chaves: Industria4.0, Simulação, Segurança, Movimentação de Material

1. Introdução

Na história de desenvolvimento do Brasil, é perceptível a procura e o aproveitamento do recurso mineral, tendo este expressiva contribuição para a economia (FARIAS; 2002). Ainda na atualidade, a mineração no Brasil é uma das atividades básicas da economia, sob a qual

diversas empresas vêm desenvolvendo mecanismos de melhoria nos processos e na metodologia de aplicação dos serviços de acordo com a instrução de trabalho de cada operador.

Porém, anualmente ocorrem no Brasil mais de 700 mil acidentes e doenças ocupacionais, levando o país ao quarto lugar no ranking mundial (AEPS, 2016). Além disso, o ramo minerário é um segmento que apresenta grau de risco nível quatro, fazendo com que a segurança não seja desconsiderada. Portanto, o treinamento operacional em segurança constitui-se como uma ferramenta que promove obtenção de tarefas bem feitas e com a máxima qualidade, além de apresentar aspectos de maior satisfação do trabalhador com o serviço exercido.

Uma forma de preparar o trabalhador para eventuais situações de emergência é destacar o funcionamento de métodos, procedimentos e padrões de prevenção de acidentes que o colaborador pode ser exposto. Uma delas é o simulador de eventos que envolvem o trabalhador quando está no campo de trabalho. Desta forma, o objetivo central deste estudo é analisar se o uso de um simulador de realidade virtual reduzirá a ocorrência de acidentes, além de verificar se o trabalho de capacitação dos colaboradores está sendo efetivo.

2. Referencial Teórico

2.1. Mineração

Para Amaral (2016), a atividade mineradora é a prática responsável por extrair minérios da natureza para uso comercial. Sendo dividida em pesquisa, exploração, lavra (extração) e beneficiamento. De acordo com Farias (2002), historicamente o desenvolvimento do Brasil possui uma grande correlação com a busca e o aproveitamento de seus recursos minerais, contribuindo expressivamente com os insumos para a economia nacional.

As minerações são divididas de acordo com o método de lavra utilizado, que nada mais é do que uma segmentação do negócio de acordo com as técnicas utilizadas para extração do minério. Deve-se levar em consideração as características da área em que será realizada a atividade, tal como a profundidade, forma e aspectos geológicos (AMARAL, 2016).

Pode-se elencar duas formas principais de tipo de mineração de acordo com Amaral (2016), sendo elas: lavra a céu aberto e lavra subterrânea. A lavra a céu aberto é o método de extração de minério que se encontra em depósitos próximos à superfície. Há, normalmente, exploração do minério até o esgotamento da mina. Os principais exemplos desse método são:

- a) Encostas;
- b) Cavas;
- c) Fatias;
- d) Lavra por dissolução.

Já a lavra subterrânea é o método de extração do minério que se encontra em depósitos afastados da superfície, sendo que os serviços de topografia auxiliam nesse tipo de método. Os principais exemplos são:

- a) Realces autoportantes;
- b) Realces encaixantes;
- c) Abatimento.

2.2. Segurança e treinamento operacional em mineração

Na atividade de mineração as questões de segurança são de vital importância, uma vez que as etapas na atividade são complexas e podem oferecer uma série de riscos aos colaboradores. Sendo assim, a falha de segurança no ambiente de trabalho, associado aos custos dos acidentes de trabalho, transfere negativas reações nos meios sociais e econômicos das empresas. Um exemplo disso é que no ano de 2011, os encargos sociais pagos pelas empresas, referente a ressarcimento destinaram cerca de R\$ 8,2 bilhões (PASTORE, 2011).

Partindo dessa premissa, de acordo com Almeida e Nascimento (2017), é papel do setor de segurança do trabalho, juntamente com a liderança da organização, garantir um ambiente seguro para a realização das atividades de trabalho, evitando qualquer desvio de segurança operacional ao reduzir custos com encargos sociais derivados de acidentes de trabalho. Portanto, a segurança do trabalho explora meios de prevenir ocorrências e acidentes de trabalho, por meio de ferramentas proativas, atuando preventivamente.

O treinamento e desenvolvimento dos colaboradores é uma ferramenta importante que, de acordo com Assis et al (2022), quando devidamente executado, garante uma base sólida de competitividade para a organização no seu mercado de atuação, além de aprimorar os executantes em suas atividades que passam a desempenhar melhor suas respectivas tarefas no contexto do trabalho.

Conforme previsto na Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978, alterada pela Portaria SEPTR n.º 210, de 11 de abril de 2019, a empresa deve conceder aos trabalhadores

informações, qualificações, instruções, treinamentos e reciclagens necessárias para realização das suas atividades com segurança, preservando não só a vida do trabalhador, mas considerando também a natureza das operações e o grau de exposição a riscos ao trabalhador.

Neste sentido, As Normas Regulamentadoras (NRs) funcionam como ferramenta para nortear as atividades de uma organização, visto que a maioria das empresas têm percebido a necessidade do treinamento operacional para melhoria dos indicadores de segurança, melhorando, conseqüentemente, a qualidade de vida de seus colaboradores e aumentando sua satisfação. As NRs possuem o objetivo central de nortear as organizações, apontando a direção de um trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho (BARSANO; PAULO ROBERTO, 2014).

Nesse sentido, a Norma Regulamentadora NR 01 (Portaria SEPRT nº 6.730, de 9 de março de 2020), traz nitidamente a forma, as obrigações e diretrizes do empregador:

a) cumprir e fazer cumprir as disposições legais e regulamentares sobre segurança e saúde no trabalho; b) informar aos trabalhadores: I. os riscos ocupacionais existentes nos locais de trabalho; II. as medidas de prevenção adotadas pela empresa para eliminar ou reduzir tais riscos; III. os resultados dos exames médicos e de exames complementares de diagnóstico aos quais os próprios trabalhadores forem submetidos; e IV. os resultados das avaliações ambientais realizadas nos locais de trabalho. c) elaborar ordens de serviço sobre segurança e saúde no trabalho, dando ciência aos trabalhadores; d) permitir que representantes dos trabalhadores acompanhem a fiscalização dos preceitos legais e regulamentares sobre segurança e saúde no trabalho; e) determinar procedimentos que devem ser adotados em caso de acidente ou doença relacionada ao trabalho, incluindo a análise de suas causas; f) disponibilizar à Inspeção do Trabalho todas as informações relativas à segurança e saúde no trabalho; e g) implementar medidas de prevenção, ouvidos os trabalhadores, de acordo com a seguinte ordem de prioridade: I. eliminação dos fatores de risco; II. minimização e controle dos fatores de risco, com a adoção de medidas de proteção coletiva; III. minimização e controle dos fatores de risco, com a adoção de medidas administrativas ou de organização do trabalho; e IV. adoção de medidas de proteção individual.

Assim, fica bem claro a responsabilidade e a necessidade de capacitação de toda a equipe. Pois, conforme citado acima no

item I e II, é possível perceber que ao declarar as informações aos trabalhadores, riscos e medidas de controle, a norma está tratando da necessidade da realização de treinamentos, ficando claro a responsabilidade quanto aos esclarecimentos e à transmissão de informações, atuantes quanto a prevenção de ocorrências, acidentes ou até mesmo doenças ocupacionais que possam advir da atividade a ser realizada pelo empregado (NR 01 - Portaria SEPRT nº 6.730, de 9 de março de 2020).

Infelizmente, ainda encontramos muitas empresas que consideram a realização de treinamentos e capacitações de seus empregados um gasto desnecessário, que muitas vezes é realizado apenas para cumprir a legislação. No entanto, colaboradores bem capacitados conhecem o processo, evitam paradas e gastos desnecessários com manutenção, são mais produtivos, possuem maior poder de tomada de decisão e podem propor melhorias inovadoras, além de reduzir consideravelmente os índices de ocorrências, incidentes e doenças ocupacionais (BARSANO; PAULO ROBERTO, 2014).

Em contrapartida, de acordo com Oliveira (2003), a segurança deve ser um valor agregado a empresa, e não uma obrigação, haja vista que as obrigações mudam de acordo com o contexto ou situação. Ainda de acordo com o autor, os colaboradores de uma empresa não poderão, sem um investimento pesado na empresa em educação corporativa sobre segurança do trabalho, enxergá-la como valor.

2.3. Indústria 4.0

Cada uma das quatro revoluções industriais trouxe consigo um salto em relação aos processos produtivos. A primeira revolução caracterizou-se pela introdução da máquina a vapor, que usou água e vapor para mecanizar a produção. Na segunda, que ocorreu entre meados do século XIX até a primeira metade do século XX, caracterizou-se pelo advento da energia elétrica, facilitando as linhas de produção e a produção em massa. Já a terceira se caracterizou pela implementação de componentes eletrônicos e tecnologia, que permitiram a automação dos processos produtivos (DELOITTE, 2014; SCHWAB, 2016).

Com os avanços tecnológicos e revoluções industriais, formou-se a quarta revolução industrial, também chamada de indústria 4.0, que de acordo com Boston Consulting Group (2015), existem estabelecidos nove pilares da indústria 4.0, conforme Figura 01, que se caracterizam como blocos em sua construção, com potencial de beneficiar técnica e economicamente os envolvidos na indústria e na sociedade em geral.

Figura 1-Nove pilares da indústria 4.0



Fonte: Sigga Technologies (2022) Disponível em: <https://www.sigga.com/pt-br/blog/os-pilares-da-industria-4-0>.

As bases ou blocos fundamentais da indústria 4.0 são:

Big data: termo da Tecnologia da Informação (TI) trata da coleta, organização e análise de enormes quantidades de dados de fontes diversas;

Cibersegurança: termo que denomina os procedimentos que objetivam a segurança digital;

Computação em nuvem: termo associado ao fornecimento de serviços de computação, sem o gerenciamento ativo direto do utilizador, por exemplo, armazenamento e banco de dados, rede, análise e inteligência;

Integração de sistemas: refere-se a sistemas de TI consistentes e interligados dentro e fora das empresas, como fornecedores, distribuidores e clientes;

Internet das coisas: É um conceito que envolve a capacidade de conexão digital de objetos físicos com a internet, formando uma rede de dispositivos conectados, capaz de reunir e de transmitir dados;

Manufatura Aditiva: também chamada de impressão 3D, é usada para a produção de protótipos físicos e peças únicas. Os processos de Manufatura aditiva apresentam um fluxo de dados que criam instruções para determinada prática, acompanhado por um fluxo de trabalho físico, modificando as matérias primas em produtos;

Robôs autônomos: esses podem executar tarefas sem a supervisão humana, agindo de forma inteligente, cooperativa e autônoma;

Realidade aumentada: tecnologia que permite a integração de elementos virtuais no ambiente real;

Simulação: refere-se à aplicabilidade de testar e aprimorar os produtos na etapa de concepção, simulando toda a cadeia de criação.

Os pilares apresentados mostram o potencial que a indústria 4.0 possui de impactar em todos os âmbitos da vida individual e coletiva. Essa afirmação é corroborada em Lavagnoli (2018), onde afirma que a sociedade, em vários setores, tem se alterado não só pelas transformações trazidas pela nova era industrial, mas também pelas novas maneiras de utilizar a tecnologia.

Lembrando que o termo Indústria 4.0 foi utilizado pela primeira vez em 2011, na Feira de Hanover, Alemanha, como definição para Quarta Revolução Industrial. Segundo Silveira (2017), existem seis princípios que devem ser observados para a implantação da indústria 4.0, sendo:

Capacidade de operação em tempo real: aquisição e tratamento de dados em tempo real, fator que possibilita que decisões sejam tomadas em tempo real;

Virtualização: essa moderna proposta industrial possui uma cópia virtual das fábricas inteligentes, permitindo assim a rastreabilidade e o monitoramento remoto;

Descentralização: as decisões podem ser feitas pelo sistema cyber-físico, como forma de atender as necessidades de produção em tempo real;

Orientação de Serviços: utilização de arquiteturas de software através serviços aliados ao conceito de Internet of Services;

Modularidade: produção de acordo com a demanda, acoplamento e desacoplamento de módulos;

Interoperabilidade: capacidade dos sistemas cyber-físicos, humanos e fábricas inteligentes de comunicar-se uns com os outros.

As transformações associadas ao conceito da Indústria 4.0 apresentam potencial para aumentar a flexibilidade, velocidade, produtividade e qualidade dos processos produtivos. Seus impactos, vão muito além, afetando a economia, empresas, governos, pessoas e o trabalho. Assim, não é por acaso que o conjunto dessas transformações venha sendo retratado como uma quarta revolução industrial (SCHAWAB, 2016).

2.4. Simulação

Segundo o dicionário Houaiss (2001), simulação tem vários significados, dentre eles: falta de correspondência com a verdade, dissimulação, fingimento, disfarce; imitação do funcionamento de um processo por meio do funcionamento de outro; e teste, experiência, ensaio.

No entanto, em um aspecto mais técnico, Chwif e Medina (2010), explicam que a simulação pode ser caracterizada de duas formas: simulação computacional, que é realizada através de um computador e classificada em três categorias básicas, sendo elas: Simulação de Monte Carlo, Simulação Contínua e Simulação de Eventos Discretos; e a simulação não computacional, realizada com objetos físicos em diferentes escalas.

Com o objetivo de desenvolver maneiras para alcançar melhorias nos processos produtivos, a simulação da realidade virtual pode ser utilizada em várias operações, tais como o treinamento e a capacitação de funcionários (FILHO; SCARPELINI, 2007). Assim, o empirismo vem sendo substituído pela simulação, pois pode ser utilizada de maneira preventiva, evitando que inconformidades cheguem à linha de produção (SILVA et al, 2007), tornando-se uma ferramenta indispensável para a otimização.

A simulação permite ainda que o operador vivencie diversas partes do processo de forma imersiva, ajudando na tomada de decisão frente a situações adversas, preparando-o para agir contra emergências (COUTO, 2019).

3. Metodologia

Diante do potencial de danos e severidade dos incidentes relacionados a operação de lavra em movimentação de equipamentos, foi realizado um estudo de caso em uma mineração por meio da coleta de informações para propor soluções referentes a redução dos índices de incidentes relacionados a erros operacionais em caminhões fora de estrada (CFE).

A organização estudada possui 360 empregados próprios na área de Operação de Mina e conta atualmente com 21 CFEs, que foram responsáveis pelo transporte de 24.698.000 toneladas de material em 2022. Como o estudo foi realizado através de interações com a gerência, setor de segurança e setor operacional, bem como foram realizadas tratativas numéricas, este pode ser classificado como quali-quantitativo. A condução da pesquisa se deu conforme fluxograma abaixo:

Figura 2 - Fluxograma com etapas do estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4. Resultado e Discussões

Para a coleta e sistematização dos dados, este estudo foi dividido em quatro etapas. Na etapa 1, foi realizada uma Reunião com a Gerência de Operação de Mina. Assim, como ação inicial, foi feita uma análise, verificando os procedimentos operacionais, metodologia de treinamento e capacitação utilizados, a fim de identificar pontos de melhoria e as lacunas dos processos.

Na etapa 2 foi realizada a Análise dos Dados, onde foi feita uma análise das últimas ocorrências com CFEs, em 2020 e 2021, avaliando os critérios de severidade e potencial de dano. Observou-se que em 2020 houve o registro de dois casos e, em 2021, quatro incidentes de alto potencial.

A gerência decidiu procurar soluções de mercado e determinou por implantar um simulador de operação de caminhão fora de estrada (CFE) modelo CAT 777G (100 toneladas). Após análise do histórico de ocorrências envolvendo caminhões fora de estrada e as informações do setor de capacitação e treinamento, realizou-se o fichamento dos itens críticos mediante segurança nas operações, aos quais podem ser encontrados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Compilado de cenários relacionados à segurança operacional para teste e treinamento no simulador

Cenário de teste	Classificação
Falha no freio	Segurança Operacional
Teste do alarme de ré (com falha do alarme de ré)	Segurança Operacional
Chuva	Segurança Operacional
Circuito	Segurança Operacional
Estacionar	Segurança Operacional
Falha na direção	Segurança Operacional
Falha no retardador automático	Segurança Operacional
Fogo no motor	Segurança Operacional
Fogo no pneu	Segurança Operacional
Limitação no filtro de combustível	Segurança Operacional
Nenhuma tarefa	Segurança Operacional
Obstáculos na estrada (várias rochas - local personalizado)	Segurança Operacional
Pressão do óleo muito baixa	Segurança Operacional
Superaquecimento do conversor de torque	Segurança Operacional
Tensão do sistema alta	Segurança Operacional
Teste do alarme de ré	Segurança Operacional
Teste do freio auxiliar	Segurança Operacional
Teste do freio de estacionamento	Segurança Operacional
Teste do freio de serviço	Segurança Operacional
Teste do freio retardador	Segurança Operacional
Travamento da roda traseira	Segurança Operacional
Ultrapassando uma motoniveladora	Segurança Operacional
Veículo leve parado em local de carregamento ou descarregamento	Segurança Operacional

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Após este levantamento inicial, na etapa 3 foi a vez da utilização do simulador, uma vez que este emula pontos críticos definidos pela gerência, sendo que a coleta de dados é feita pelo simulador durante a sessão.

O método de treinamento utilizado é uma triagem inicial, onde o colaborador opera o equipamento conforme seus conhecimentos e, a cada erro, contabiliza pontuação. Portanto, quanto maior a pontuação, maior a quantidade de erros, sendo estes acumulados até a conclusão do cenário de teste.

Após essa primeira sessão para apuração dos possíveis pontos de melhoria o operador é instruído, recebendo treinamento da forma correta de atuação conforme procedimento operacional e realiza mais uma sessão para aperfeiçoamento.

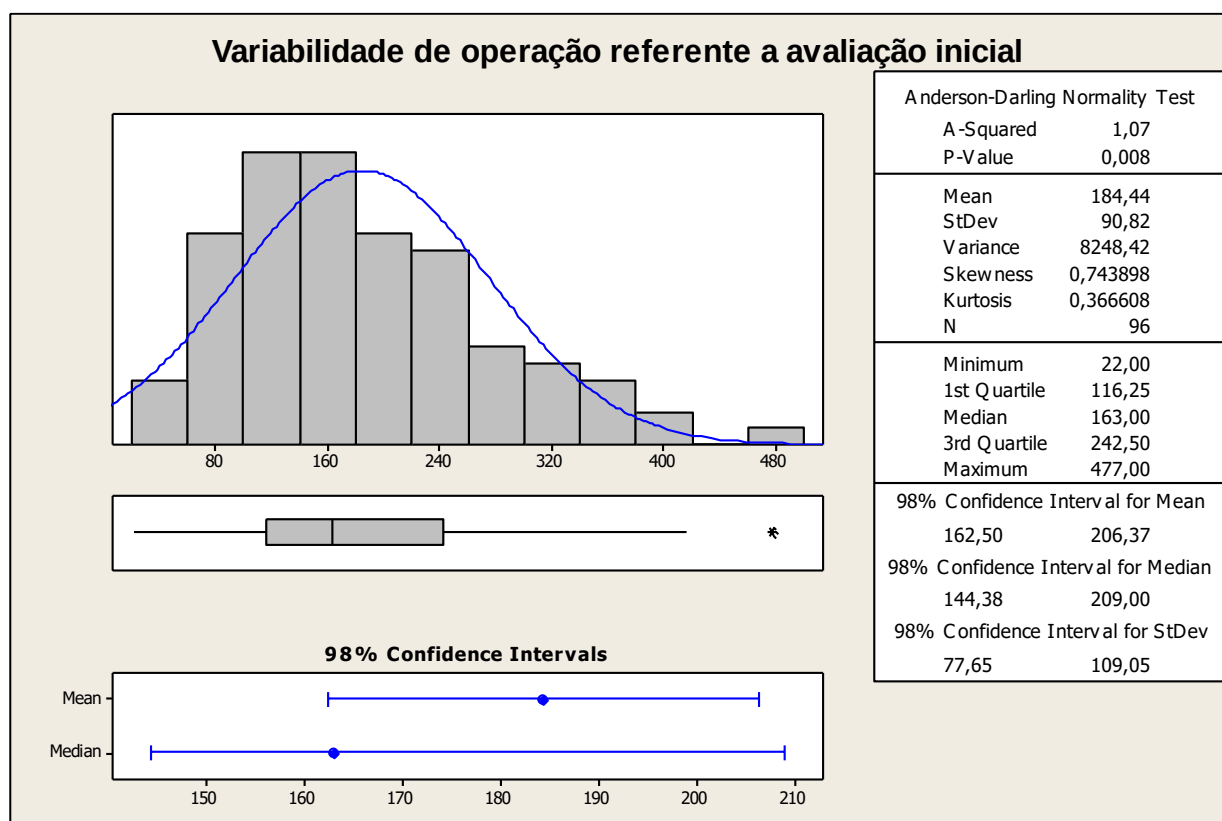
Na última sessão (cenário final), o operador realiza as ações sem instruções e da mesma forma contabiliza sua pontuação sobre erros cometidos. As pontuações finais e iniciais são

comparadas, verificando se houve melhoria na operação ou necessidade de novos treinamentos e reciclagem. Caso o operador não apresente uma redução de 70% dos erros, é direcionado para uma reciclagem e reavaliação.

Após a instalação do simulador, testes de qualidade e personalização dos eventos segundo procedimento operacional da empresa, inicia-se o treinamento com todos os operadores de CFE, totalizando 301 horas em simulação. Assim, o número médio de horas de treinamento por operador foi de aproximadamente 3,7 horas efetivas, onde apenas 5 operadores ultrapassaram 5 horas de treinamento, tendo que repetir a avaliação final e fechar lacunas em mais de uma oportunidade.

Para este estudo foi realizado o teste inicial com 96 operadores, conforme é apresentado no Gráfico 01:

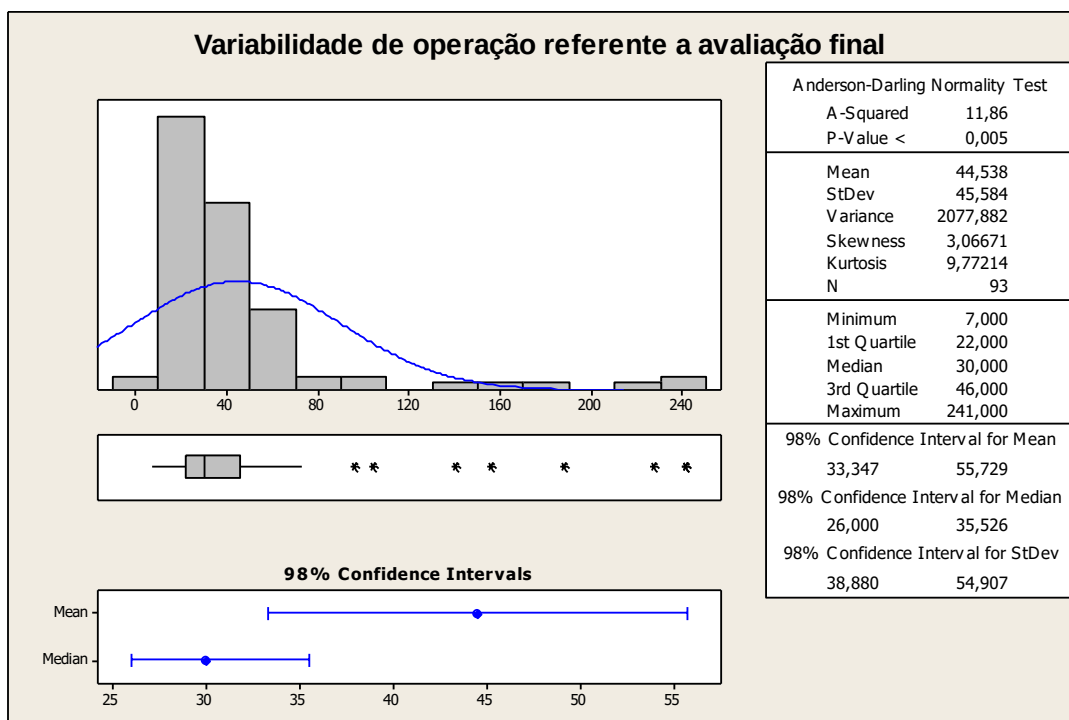
Gráfico 1 - Variabilidade de operação referente a avaliação inicial (Simulador Caminhão Fora de Estrada)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Por fim, na etapa 4, que consiste na análise dos resultados pós simulação, observou-se que após a conclusão da terceira etapa descrita acima, ocorre a avaliação final. No Gráfico 02, seguem os dados de 93 operadores, uma vez que três não conseguiram cumprir devido a problemas de saúde.

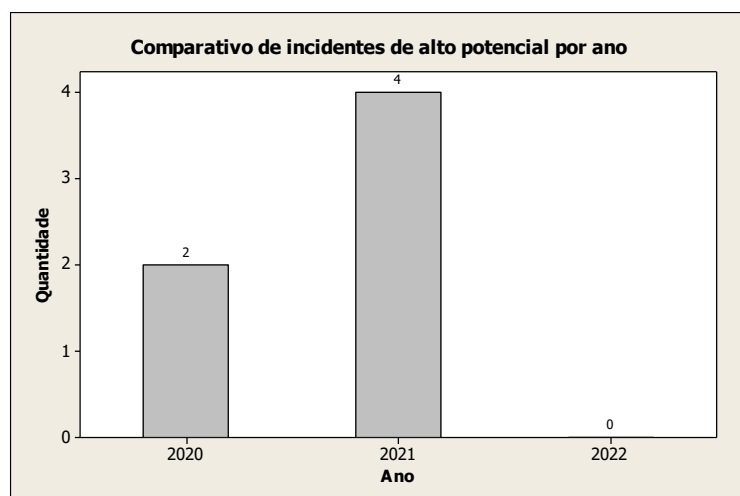
Gráfico 2 - Variabilidade de operação referente a avaliação final (Simulador Caminhão Fora de Estrada CAT777G)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Ressalta-se que em 2022, ano da realização dos treinamentos e capacitação com todos os operadores de fora de estrada, a empresa não teve nenhum incidente de alto potencial relacionada a esse equipamento, conforme Gráfico 03.

Gráfico 3 – Histórico de incidentes envolvendo caminhões fora de estrada na Gerência de Operação de Mina ano 2020, 2021 e 2022

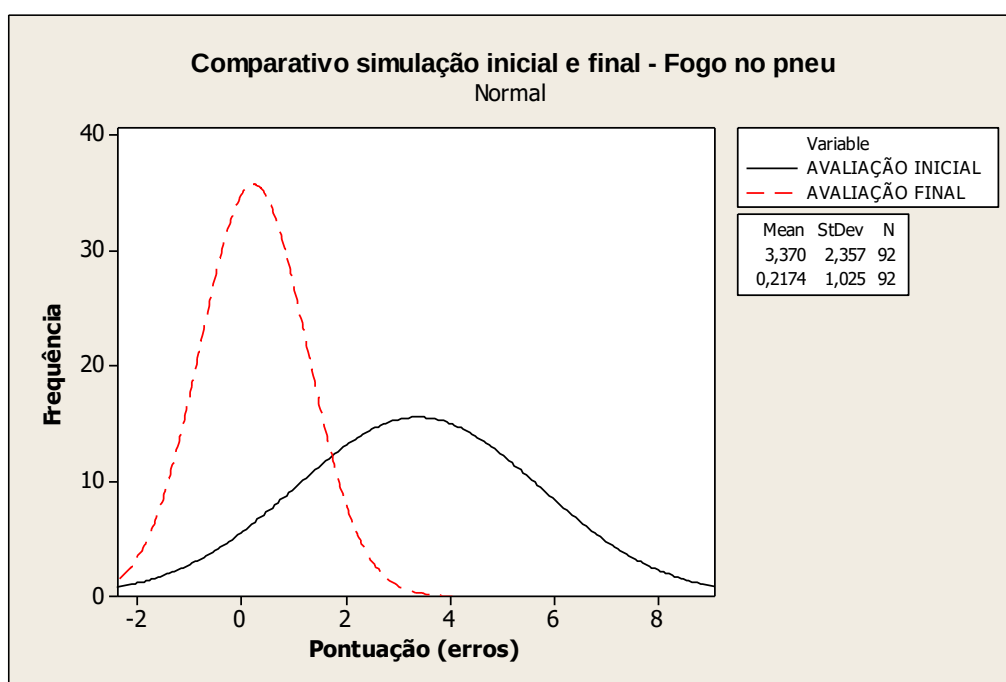


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Porém, em fevereiro de 2021, ocorreu um princípio de incêndio em um CFE, em razão do operador não ter cumprido o procedimento correto de desligamento, imobilização e acionamento do sistema de combate a incêndio. Esse risco foi mapeado e um cenário no simulador, ao qual foi criado para capacitação em casos de ocorrências dessa magnitude, com o intuito de capacitar os operadores para realizarem corretamente o procedimento, visando maior segurança operacional.

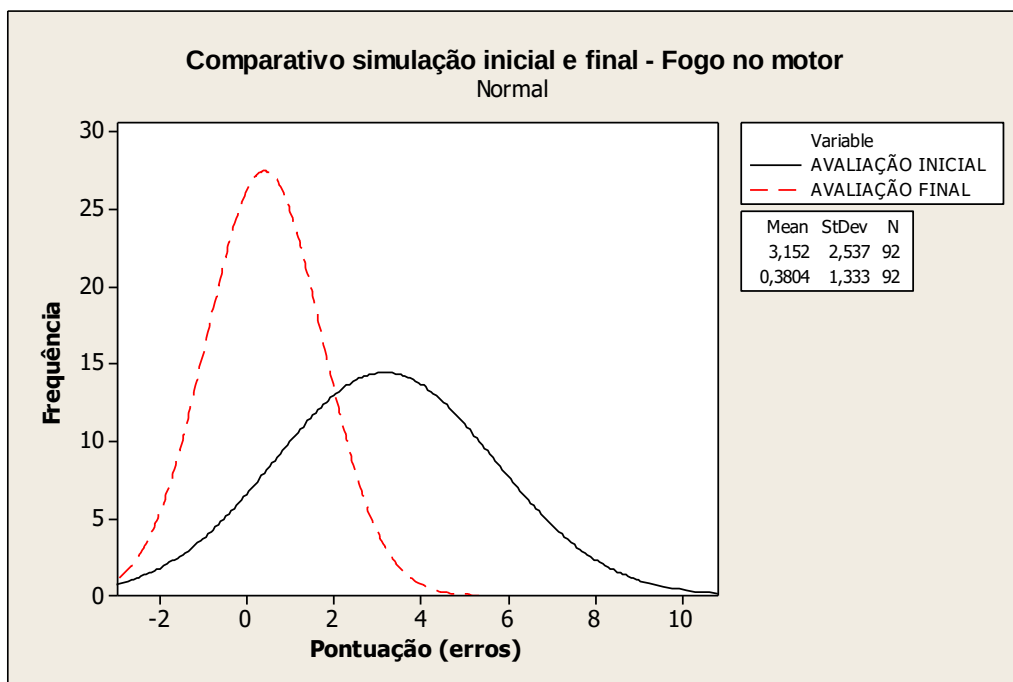
Segue dados referente a ação de segurança, em situações adversas mediante fogo no equipamento, dados referentes a fogo no pneu e motor, simultaneamente demonstrados nos Gráficos 04 e 05:

Gráfico 4 - Comparativo simulação inicial e final – fogo no pneu (Simulador Caminhão Fora de Estrada CAT777G)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Gráfico 5 - Comparativo simulação inicial e final – fogo no motor (Simulador Caminhão Fora de Estrada CAT777G)

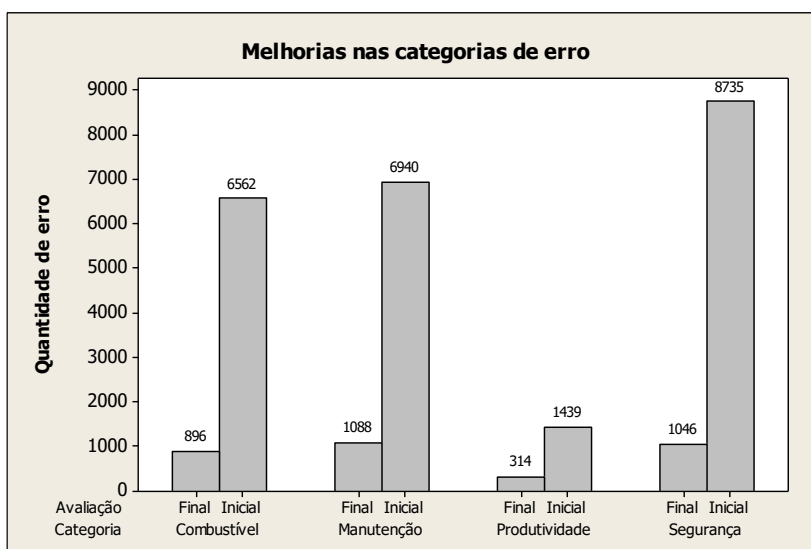


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Referente aos cenários de fogo no pneu e motor é possível observar uma melhoria mediante a redução de variabilidade. Os dados estão mais acumulados a esquerda do gráfico, o que representa uma redução nos erros cometidos. É possível ainda observar que além de redução dos erros, a forma de operação está mais padronizada e homogênea.

Por fim, segundo os dados do Gráfico 06, é possível verificar a melhoria em todas as categorias de erros simulados.

Gráfico 6 - Melhorias nas categorias de erro (Simulador Caminhão Fora de Estrada CAT777G)



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No total, houve uma melhoria e redução de erros em aproximadamente 86%, sendo apenas na segurança uma melhoria de aproximadamente 89%.

5. Considerações Finais

Nesse estudo procurou-se analisar as medidas de controle de prevenção de ocorrências com CFEs, através da utilização da simulação. Com base nos resultados, observou-se que após este procedimento houve reduções dos erros relacionados a produtividade, manutenção e eficiência de combustível, o que corrobora a hipótese de que a simulação operacional pode fornecer melhorias não só nas questões de segurança, mas também em questões relativas à excelência operacional.

Vale ressaltar que antes do simulador havia um cenário crítico na operação, tais como fogo no motor e perda da eficiência dos freios, sendo estes repassados aos operadores apenas na teoria, via estudo do procedimento. Com a simulação, houve um ganho na qualidade dos treinamentos práticos e no efetivo treinamento em casos de emergências, ao qual é necessária uma ação rápida e assertiva do operador.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Fernando. **Introdução à ciência de dados: mineração de dados e big data**. Alta Books Editora, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=hAlVDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=AMARAL,+Fernando.+Aprenda+minera%C3%A7%C3%A3o+de+dados:+teoria+e+pr%C3%A1tica.+Alta+Books+Editora,+2016.&ots=hGcn3sexzY&sig=Vs72OFG56uWz3JrHc71KBd2wOZ0>. Acesso em: 15 dez. 2022.

BARBOSA, Roberto Spinola. **Segurança em sistemas metro-ferroviários**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-14112017-151411/en.php>. Acesso em: 30 dez. 2022.

BARSANO, PAULO ROBERTO. **Legislação aplicada à segurança do trabalho**. Saraiva Educação SA, 2014. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=lYuwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT218&dq=BARSANO,+PAULO+ROBERTO.+Legisla%C3%A7%C3%A3o+aplicada+a%C3%A7%C3%A3o+seguran%C3%A7a+do+trabalho.+Saraiva+Educa%C3%A7%C3%A3o+SA,+2014.&ots=3w4h3uzHJ4&sig=oYpf4dZqJt5RxYGmPy5oAf3xwSs>. Acesso em: 15 set. 2022.

BOSTON CONSULTING GROUP. **Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. 2015. Disponível em: https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries/. Acesso em: 23 set. 2022.

BRASIL, **Portaria SEPRT nº 6.730**, de 9 de março de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/nr-1>. Acesso em: 01 dez. 2022.



BRASIL, **Portaria SIT nº 787**, de 29 de novembro de 2018. Disponível em:

<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-22-nr-22>. Acesso em: 30 out. 2022.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. Afonso C. Medina, 2006.

COUTO, Vítor Maia. **O uso de simulador para treinamento de operadores na mineração: um estudo de caso**. 2019. Disponível em: <http://monografias.ufop.br/handle/35400000/2147>. Acesso em: 10 jul. 2022.

DA SILVA, Carlos Eduardo Sanches et al. Contribuição da Análise de Valor na Simulação da Manufatura. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia**, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Silva-25/publication/309035132_CONTRIBUICAO_DA_ANALISE_DO_VALOR_NA_SIMULACAO_DA_MANUFATURA/links/57feb9f808ae72756401663d/CONTRIBUICAO-DA-ANALISE-DO-VALOR-NA-SIMULACAO-DA-MANUFATURA.pdf. Acesso em: 20 jul. 2022.

DELOITTE, A. G. Industry 4.0. Challenges and solutions for digital transformation and use of exponential technologies. Audit tax Consulting. **Corporate Finance. Fung, D.(D. (2017). A connected Curriculum for Higher Education. London, England: UCL Press**, 2014.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório do CGEE/PNUD, v. 76, p. 2, 2002. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5694145/mod_resource/content/1/10675%20-%20Minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20meio%20ambiente%20no%20Brasil%20%281%29.pdf. Acesso em: 02 set. 2022.

HOUAISS, Antônio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro, Ed. Objetiva, 2001. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-01-atualizada-2020>. Acesso em: 23 nov. 2022.

Infologos. **Anuário Estatístico da Previdência Social - AEPS**. (2016). AEPS - Infologos. Disponível em: <http://www.mtps.gov.br/dados-abertos/dadosda-previdencia/previdencia-social-e-inss/anuario-estatistico-da-previdencia-social-aeps>. Acesso em: 04 fev. 2023.

LAVAGNOLI, Silvia. Indústria 4.0 – **Evolução ou Revolução?**, 2018. Disponível em: <https://opencadd.com.br/9-pilares-da-industria-4-0/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

LAZO, Marco Antonio Arroyo. Schwab, Klaus. The Fourth Industrial Revolution. Ginebra: World Economic Forum, 2016, 172 pp. **Economia**, v. 41, n. 81, p. 194-197, 2018. Disponível em: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/economia/article/download/20360/20303>. Acesso em: 01 nov. 2022.

OLIVEIRA, João Cândido de. **Segurança e saúde no trabalho: uma questão mal compreendida**. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spp/a/kFvWqHDVNTf63ncfjZHP5Kg/?lang=pt>. Acesso em: 23 nov. 2022.

Pastore, J. (2011). **O custo dos acidentes e doenças do trabalho no Brasil**. São Paulo. Disponível em: <https://www.unicep.edu.br/enade/atualidades/O%20custo%20dos%20acidentes%20e%20doen%C3%A7as%20do%20trabalho%20no%20Brasil>. Acesso em: 02 jan. 2023.



PAZIN FILHO, Antonio; SCARPELINI, Sandro. **Simulação**: definição. Medicina (Ribeirão Preto), v. 40, n. 2, p. 162-166, 2007. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/312>. Acesso em: 11 set. 2022.

SILVEIRA, C. B. **O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. Citisystems. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 24 jul. 2012.