

GESTÃO DE FADIGA DE OPERADORES DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA: ESTUDO DE CASO EM UMA MINA A CÉU ABERTO

Pedro Henrique Evangelista Porto, Vale S.A. – pedro.porto@vale.com

Samuel Lourival Diamantino, Vale S.A.

Leandro Geraldo Canaan Silveira, Vale S.A., Universidade Federal de Ouro Preto.

Eduardo Augusto Malta, Vale S.A.

Juliano Alves dos Reis, Komatsu do Brasil

RESUMO

Os profissionais que trabalham em regimes de turno, como na mineração, têm o seu ciclo circadiano bastante alterado, podendo ser conduzidos a um estado de fadiga. Nessa condição há uma maior propensão à tomada de decisões erradas ou tardias, que comumente são causas de acidentes. Nesse contexto, este trabalho visa verificar a efetividade da aplicação do sistema de gerenciamento de fadiga OptAlert®, que mede a sonolência de operadores de caminhão fora de estrada, em uma mina a céu aberto. Três fases de teste, sob distintas condições de tratativa de fadiga, durante o período de seis semanas cada foram realizadas com vinte e quatro operadores. Os resultados mostraram que a implantação de um sistema de gerenciamento capaz de quantificar a sonolência de operadores e estabelecer procedimentos e tratativas específicas é efetiva no aumento do nível de alerta dos operadores, podendo assim ser útil para redução do risco de acidentes.

Palavras-chave: gerenciamento de fadiga; sonolência; caminhão fora de estrada; risco de acidente.

ABSTRACT

Shift workers, as in mining, have their circadian cycle greatly altered, and may be led to a state of fatigue. In this condition, there is a greater propensity to make wrong or late decisions, which are commonly causes of accidents. In this context, this work aims to verify the effectiveness of the application of the OptAlert® fatigue management system, which measures the drowsiness of off-road truck operators, in an open pit mine. Three test phases, under different fatigue management conditions, during a period of six weeks each were performed with twenty-four operators. The results have shown that the implementation of a management system capable of quantifying the sleepiness of operators and establishing specific procedures and treatments is effective in increasing the operator's alertness level, thus being able to be useful for reducing the risk of accidents.

Keywords: fatigue management; drowsiness, off-road truck, risk of accident.

INTRODUÇÃO

A fadiga representa um grande desafio no seguimento da mineração. Dependendo da ocupação específica e da configuração operacional, os trabalhos do setor podem ter uma quantidade razoável de tarefas intensas, monótonas e repetitivas. Combinado com as cumprimentos da jornada de trabalho e horários de turno, a aparição de fadiga nos colaboradores é algo esperado, como descrito por Bauerle, Dugdale e Poplin [1]

É prática comum que operações mineiras adotem regimes de trabalho em turnos, de maneira a atender as demandas de mercado, sempre em acordo com as regulamentações trabalhistas locais. Os regimes de trabalho adquirem diversas formas, desde a adoção de sistema *fly-in/fly-out* aos regimes de turno em diferentes configurações. Boivin e Boudreau [2] estudaram os impactos na saúde de trabalhadores e os distúrbios do sono associados ao trabalho em regimes de turno. Os autores concluíram que o trabalho sob estes regimes aumenta o risco de erros e acidentes no ambiente de trabalho.

A fadiga é um fenômeno que interessa várias áreas de estudos da sociedade em geral. Por isso, não se obtêm uma unanimidade de definição em seu conceito. Para este estudo se adotará a definição de Everitt [3], que diz que a fadiga pode ser inferida por meio de várias características observáveis e monitoráveis. Segundo Shen, Barbera e Shapiro [4], a fadiga se manifesta, principalmente, por meio de quatro fatores: psicológico (cansaço, falta de motivação, ações induzidas pelo estresse), fisiológico (perda de força e resistência, consumo de energia), cognitivo (tempo de reação retardado, esquecimento) e comportamental (fechamento da pálpebra ou aceno de cabeça, fala mais lenta, diminuição da produtividade).

Um estudo publicado em 2007 pela Caterpillar Global Mining [5] estimou que até 65% dos acidentes de transporte de materiais em minerações a céu aberto foram relacionados à fadiga dos operadores. Pelders e Nelson [6] investigaram os fatores chave que contribuem para a fadiga em operadores em quatro minas de ouro e em uma mina de platina na África do Sul. Qualitativamente, a fadiga pôde ser atribuída ao regime de trabalho de turno, bem como às questões cotidianas, como problemas pessoais de cada indivíduo.

Johns *et al.* [8] propuseram uma escala (JDS ou *Johns Drowsiness Scale*) derivada de uma análise de regressão múltipla *stepwise backward*, validada estatisticamente, para medição de sonolência através de uma combinação ponderada de variáveis oculares por oculografia de refletância de infravermelho. Essa escala foi proposta através de um estudo que consistiu na análise de falhas de desempenho em dois diferentes testes de tempos de reação (tempo de reação e tempo de decisão) e também em testes de condução simulada de veículos. Trinta e um voluntários saudáveis participaram dos dois testes de tempo de reação por quinze minutos, com e sem privação de sono (27 ~ 33 horas). Em ambos cenários, a sonolência deles foi medida pela escala JDS (0 – 10) a cada minuto. Como resultado, o experimento concluiu que após a privação de sono o tempo de reação cresceu e os erros de omissão (falha em responder ao estímulo em até 2 segundos) ocorreram com mais frequência nos dois tipos de teste. Saídas de pista também aumentaram consideravelmente de acordo com o aumento da pontuação da escala e o risco por minuto cresceu progressivamente. Portanto, o risco da falha em estado de sonolência pode ser amplamente associado às altas pontuações na escala JDS, refletindo mudanças nas características de movimentação de pálpebra durante as piscadas. Foram ainda identificadas três faixas de interesse na escala JDS, a saber: o risco de falha começava a aumentar apenas levemente à medida que a pontuação ultrapassa o valor de 3 (risco baixo); para pontuações de 4,5 até 5 (risco médio) o risco aumentava

substancialmente e acima de 5 (risco alto) o risco de falha de desempenho era tão alto que o indivíduo era instruído que estava sonolento demais para continuar a dirigir.

Em um experimento conduzido por Aidman *et al.* [8] foi realizado o monitoramento de condutores de veículos leves utilizando o sistema de monitoramento de fadiga OptAlert em rodovias, que usa a escala JDS. Esse grupo foi supervisionado por alguns dias com o sistema funcionando em dois cenários: no primeiro cenário o sistema apenas monitorava e não gerava nenhum alerta de sonolência ao condutor. No segundo cenário, os condutores eram comunicados sempre que o sistema alertava e gerava alarme de sonolência. Os resultados obtidos foram expressivos e verificados através das variações do JDS. Deste modo, verificou-se que no segundo cenário as pontuações de JDS foram menores do que no primeiro. Consequentemente, verificou-se que o sistema corroborou para um maior nível de alertar dos condutores.

Nesse contexto, este trabalho visa verificar a efetividade da aplicação do sistema de gerenciamento de fadiga OptAlert no aumento do nível de alerta dos operadores de caminhão fora de estrada em uma mina a céu aberto, contribuindo, consequentemente, na redução do risco de acidentes relacionados à fadiga.

METODOLOGIA

Foram selecionados aleatoriamente vinte e quatro operadores de caminhões fora de estrada, que trabalham em regime de turno, para avaliação do sistema de monitoramento de fadiga. A mina em estudo opera vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana, com os turnos configurados da seguinte maneira:

- Noturno: 01:00 às 07:00h;
- Diurno: 07:00 às 16:00h;
- Tarde: 16:00 às 01:00;

Durante o experimento os operadores trabalharam em escala fixa em seis caminhões, no quais foram instalados os kits do sistema OptAlert®. Os operadores foram avisados do início do experimento e treinados no funcionamento do sistema.

O período de avaliação foi de cinco meses, superando a ordem de onze mil horas monitoradas. O experimento foi dividido em três fases de seis semanas cada, conforme Figura 1.

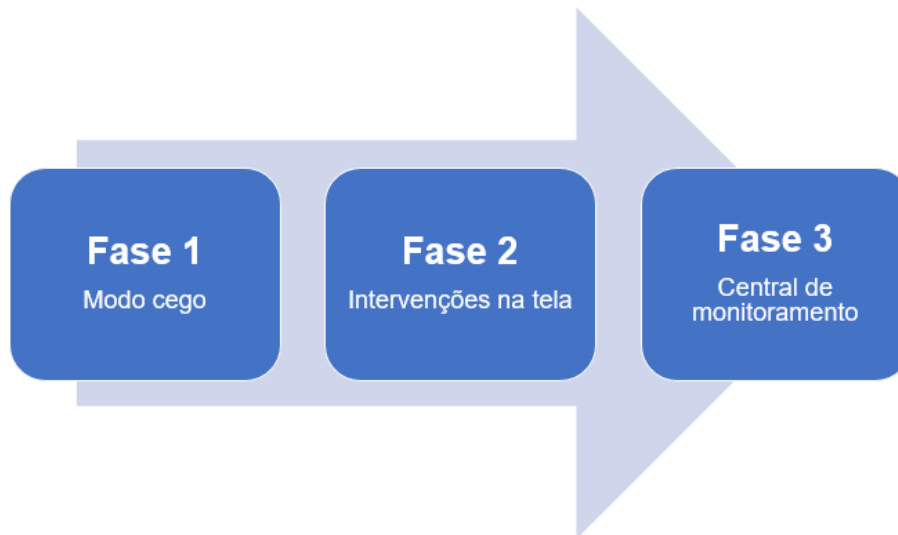


Figura 1: Fases do experimento.

- Fase 1: os operadores foram orientados a operar os equipamentos utilizando os óculos OptAlert®, mas sem receber nenhum tipo de aviso ou interferência sobre o estado de sonolência medido. A tela do dispositivo instalado na cabine do equipamento foi desabilitada, não informando o operador sobre os níveis de sonolência apresentados. Essa fase, chamada de “modo cego”, teve como objetivo estabelecer o padrão de alerta e sonolência da mina, de maneira a conhecer os níveis de sonolência da operação previamente à implementação do sistema, possibilitando análises e comparações futuras.
- Fase 2: os operadores passaram a receber, em tempo real, alertas visuais e sonoros através da tela do dispositivo instalada dentro da cabine do equipamento quando atingiam níveis de sonolência médios e altos. Nessa fase objetivou-se estabelecer o grau de eficiência do sistema, de maneira gradual, assim como a mudança comportamental dos operadores quando sujeitos a intervenções do sistema
- Fase 3: nessa fase, além dos alertas sonoros e visuais na cabine dos equipamentos presentes na fase 2, houve também a intervenção da equipe de monitoramento do sistema de gerenciamento de fadiga. A equipe de monitoramento foi responsável por monitorar, vinte e quatro horas por dia, o sistema de gestão de fadiga, acionando o procedimento estabelecido sempre que alarmes médios ou altos fossem recebidos por um operador. O procedimento preconiza que, caso o operador receba de um a quatro alarmes médios, deve-se paralisar o equipamento, realizar a ginástica laboral e/ou ingerir um lanche caso tenha se passado muito tempo desde a última ingestão de glicose. No caso de mais de quatro alarmes médios ou um alarme de nível alto, o operador deve parar o equipamento em local seguro e ser substituído naquele turno, como ilustrada na Figura 2.

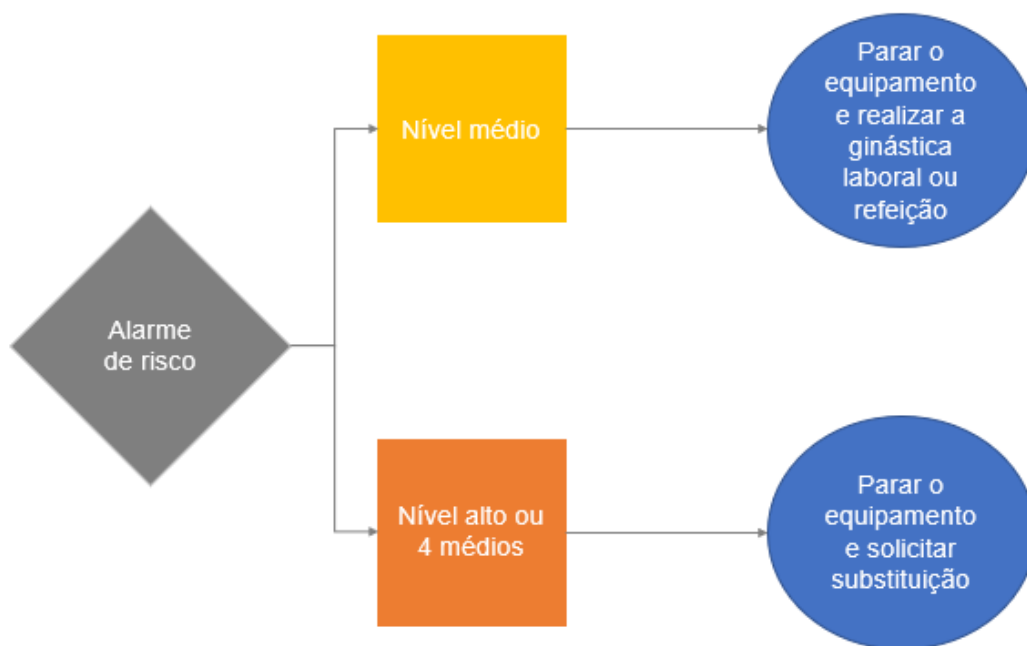


Figura 2: Procedimento operacional para alarmes de fadiga.

Vale ressaltar que na fase 3, foi designado um profissional habilitado para monitorar os resultados advindos do sistema e realizar as intervenções, quando necessário.

Durante todo o período do experimento os dados foram coletados pelo sistema OptAlert®, possibilitando análises sobre o nível de risco da mina antes e depois da implantação do sistema e das intervenções feitas no caso de alertas de risco.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os dados foram analisados de maneira a verificar a efetividade da aplicação do sistema e das intervenções na redução do nível de risco dos operadores da operação. Inicialmente, analisou-se a pontuação média, medida em JDS, das fases do experimento. A Tabela 1 sumariza as principais estatísticas descritivas por fase, também ilustradas pelos boxplots da Figura 3, em que é possível observar a redução de cerca de 22% (1,70 para 1,32) na pontuação média entre as fases 1 e 3.

Tabela 1: Estatísticas da pontuação média nas três fases do experimento.

<i>Estatísticas Descritivas</i>	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2</i>	<i>Fase 3</i>
Média	1,70	1,47	1,32
Erro padrão	0,00301	0,00279	0,00282
Mediana	1,50	1,30	1,20
Desvio padrão	1,28	1,13	1,03
Variância da amostra	1,64	1,28	1,06
Mínimo	0,00	0,00	0,00
Máximo	7,90	7,00	6,90
n	180695	164136	132392

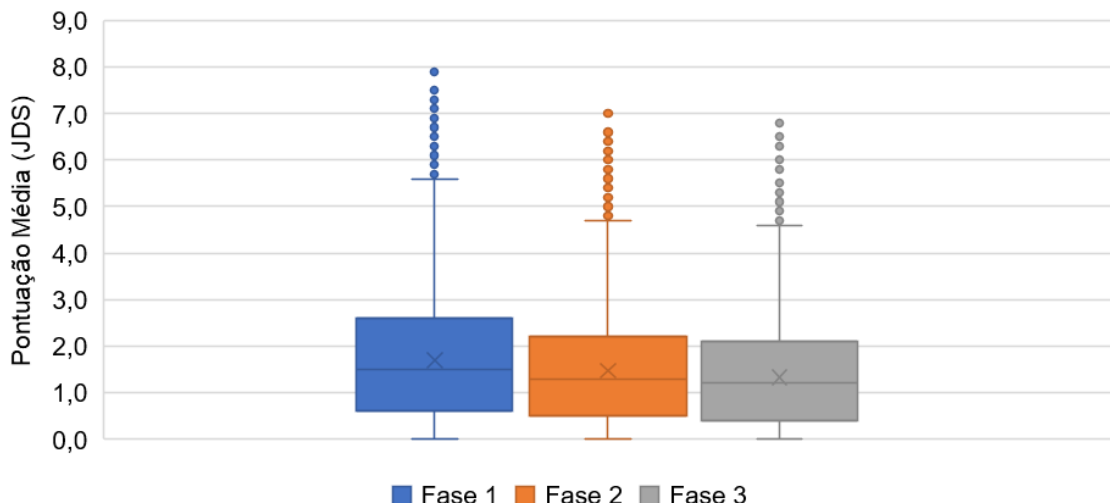


Figura 3: Boxplot da pontuação média por fase do experimento.

A Figura 4 avalia a evolução da pontuação média por hora do dia. Não se pode deixar de notar a gradual evolução do nível de sonolência ao longo dos turnos, em que o turno noturno apresenta um nível de sonolência médio maior que os outros turnos e que o turno diurno é o que apresenta o menor nível. Os picos de sonolência acontecem no final do turno da tarde (entre 22h e 0h) e próximos ao final do turno noturno (entre 04h e 06h). Esse comportamento sazonal ao longo do dia se repetiu independente da fase do experimento. Além disso, há clara diferença na pontuação média entre as 3 fases do experimento, em que a intervenção direta da central de monitoramento, na fase 3, resultou em menores níveis de sonolência por hora.

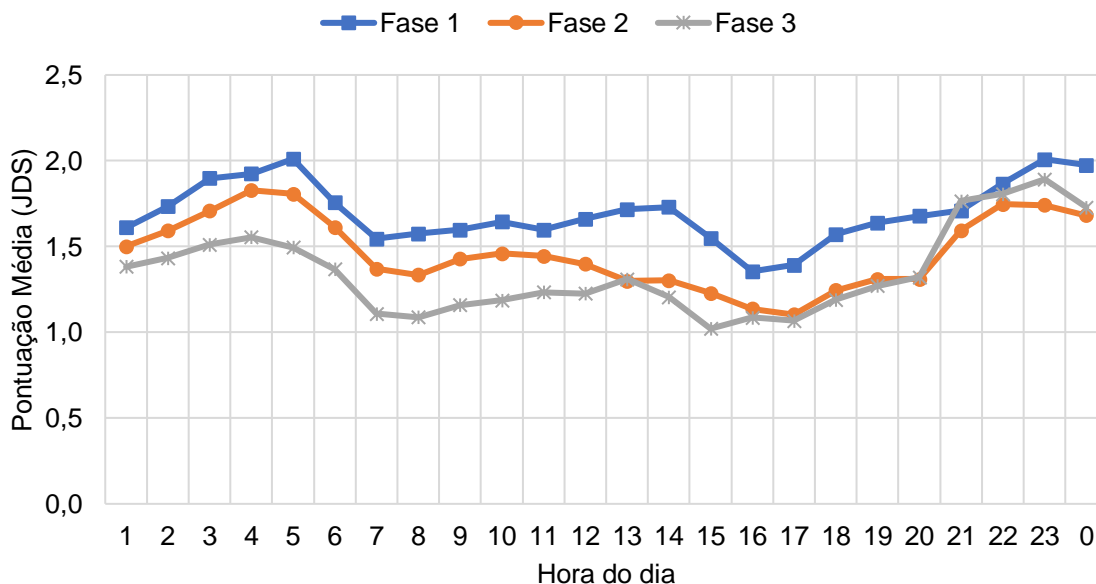


Figura 4: Pontuação média (JDS) por hora do dia em cada fase do experimento.

Outra análise se refere à quantidade de alarmes de risco gerados por hora do dia. Nesse sentido, a frequência média de alarmes por hora foi reduzida em cerca de 86% entre as fases 1 e 3, conforme Tabela 2. Na Figura 5 é possível observar que, além do evidente

deslocamento de médias entre as fases do experimento, há redução na variabilidade dos resultados.

Tabela 2: Estatísticas da frequência de alarmes por hora nas três fases do experimento.

<i>Estatísticas Descritivas</i>	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2</i>	<i>Fase 3</i>
Média	0,67	0,26	0,10
Erro padrão	0,05077	0,02613	0,02328
Mediana	0,70	0,25	0,07
Desvio padrão	0,25	0,13	0,11
Variância da amostra	0,06	0,02	0,01
Mínimo	0,19	0,07	0,01
Máximo	1,09	0,50	0,53
n	24	24	24

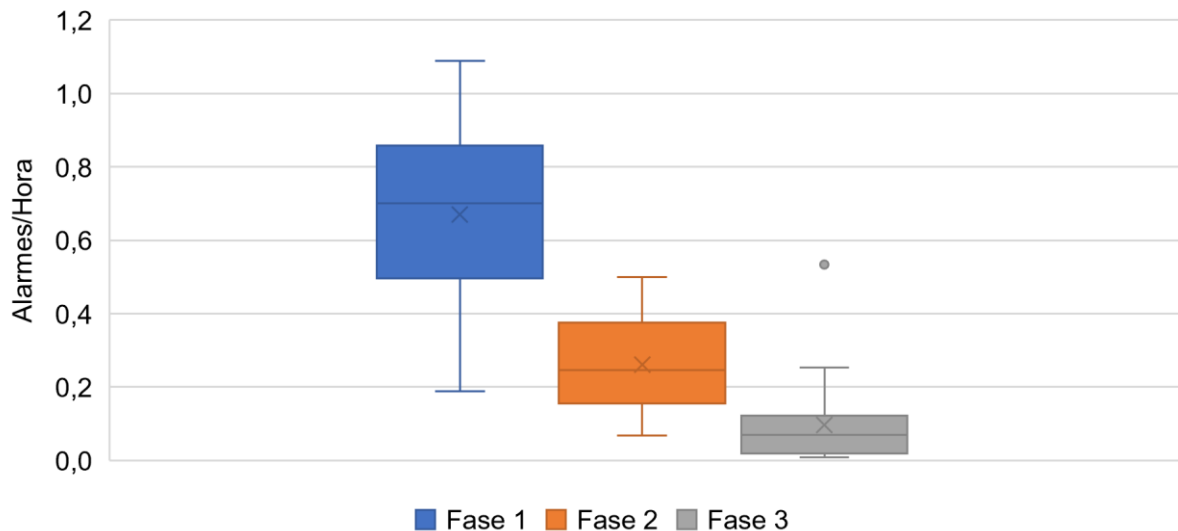


Figura 5: Frequência de alarmes por hora nas três fases do experimento.

A redução da frequência de alarmes por hora se deu tanto para alarmes de risco de nível médio quanto para os de nível alto, bem como nos diferentes turnos e horas do dia, como pode ser comparado na Figura 6, Figura 7 e Figura 8. Nota-se que, mesmo nas diferentes fases do experimento, a frequência de alarmes por hora aumenta ao longo dos turnos, se mantendo mais concentrada no final do turno da tarde e do turno noturno, em conformidade com o resultado analisado de média de pontuação por hora. Tais resultados corroboram com o ciclo circadiano humano, uma vez que os operadores do experimento estavam mais cansados ao final dos turnos do que se passam no período noturno.

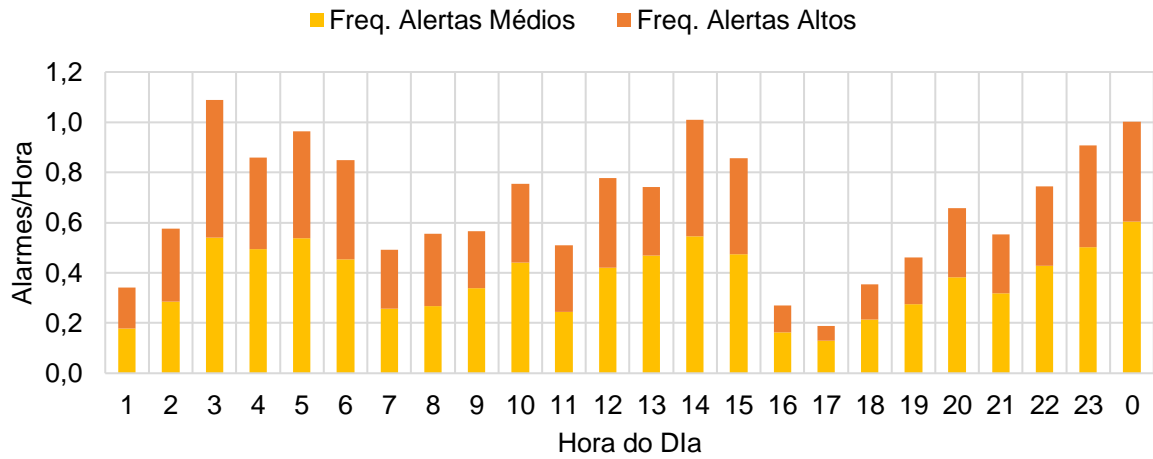


Figura 6: Freqüência de alertas por hora do dia - Fase 1.

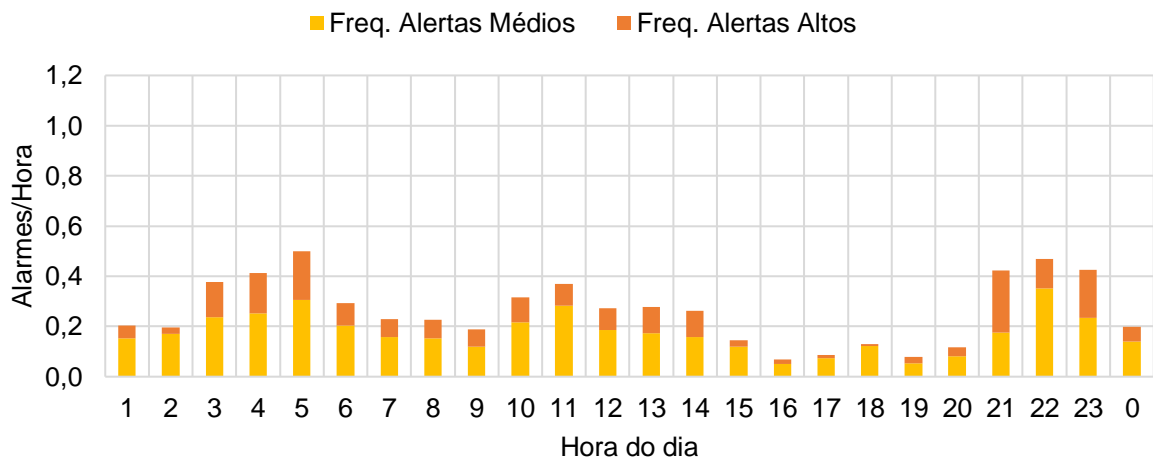


Figura 7: Freqüência de alertas por hora do dia - Fase 2.

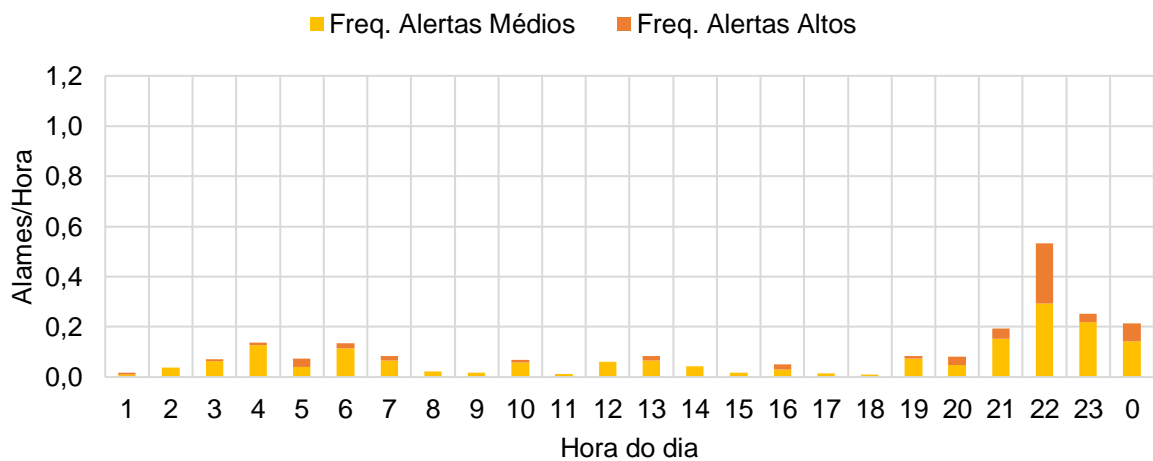


Figura 8: Freqüência de alertas por hora do dia - Fase 3.

As análises mostram que a simples intervenção de alarmes sonoros e visuais na cabine dos equipamentos aumentaram o nível de alerta dos operadores e reduziram o nível de risco operacional, com uma redução de cerca de 61% na frequência de alarmes entre as fases 1 e 2. Já a intervenção direta de uma equipe responsável pelo monitoramento e gestão da fadiga dos operadores acarretou na uma redução ainda mais acentuada no perfil de risco da operação, visto que a frequência de alarmes entre as fases 1 e 3 foi reduzida em cerca de 85% e em 62% entre as fases 1 e 2.

CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma metodologia para verificar a efetividade de um sistema de gerenciamento de fadiga em aumentar o nível de alerta dos operadores de caminhão fora de estrada em uma mina a céu aberto e assim contribuir na redução de acidentes. Três etapas de teste, bem definidas, a saber: etapa “modo cego” (uso de óculos, porém sem alertas de sonolência na tela ou intervenções); etapa com alertas na tela e etapa com intervenção da central de monitoramento se fizeram necessárias para observar o aumento a evolução do nível de alerta dos operadores. Com base nos resultados e análises apresentados, concluiu-se que a implantação de um sistema de monitoramento e gestão de fadiga capaz de determinar de maneira quantitativa a sonolência de operadores e estabelecer procedimentos e tratativas específicos é de grande valia e efetiva no que tange à gestão de riscos e pode ser útil na prevenção de acidentes em operações a céu aberto. Ademais, verificou-se que a intervenção através de uma central de monitoramento responsável pela gestão do sistema é de suma importância para o aumento do nível de alerta dos operadores e conseqüente redução do risco relacionado à fadiga.

REFERÊNCIAS

- [1] Bauerle, T., Dugdale, Z., Poplin, G. (2018). Mineworker fatigue: A review of what we know and future decisions, 70 (3), pp. 33-40
- [2] Boivin, D., Boudreau, P. (2014). Impacts on shift work on sleep and circadian rhythms. *Psychologie Biologie*, vol 62 (5), pp.292-301.
- [3] Everitt, B. An introduction to latent variable models. Chapman and Hall; London: 1984.107 pp.
- [4] Shen J, Barbera J, Shapiro C. Distinguishing sleepiness and fatigue: Focus on definition and measurement. *Sleep Medicine Reviews*. 2006;10:63–76. [PubMed]
- [5] Caterpillar Global Mining, Viewpoint. Operator Fatigue Detection Technology Review Caterpillar, Peoria, IL (2008).
- [6] Pelders e Nelson (2019) Contributors to Fatigue of MineWorkers in the South African Gold and platinum sector. 10:188-195.
- [7] Johns, M., Chapman, R., Crowley, K., Tucker, A. (2008) A new method for assessing the risks of drowsiness while driving. *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin*. 12, 66–74(2008)

- [8] Aidman, E., Chadunow, C., Johnson, K., Reece, J. Real-time driver drowsiness feedback improves driver alertness and self-reported driving performance. *Accident Analysis & Prevention*. 81: 8-13.