

Análise do sistema de alerta sonoro sem fio da empresa TELEVALE: uma abordagem em inovação tecnológica aplicada a zonas de auto salvamento em barragens

Analysis of TELEVALE's wireless sound alert system: technological innovation approach applied to self-rescue zones of dams

Pedro Flávio Dias Portela Oliveira¹; Mário Sérgio da Luz²

¹ Mestre em Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. Orcid: 0009-0005-5702-6345 E-mail: pedroflavio_3@hotmail.com

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental e do Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. Orcid: 0000-0003-1226-9480 E-mail: mario.luz@uftm.edu.br

RESUMO: Na atualidade, com o crescente número de usinas localizadas próximas a zonas habitáveis, há a necessidade de se conhecer os fatores que podem desencadear na ruptura de suas barragens. Em adição é importante que se tenha sistemas sonoros que avisam a população, frente a um possível desastre ambiental, próximas às áreas a jusante. Frente a isto, este estudo teve como objetivo avaliar a implementação de um sistema de alerta sonoros de alta potência, desenvolvido para notificação emergencial de evacuação em massa da população de moradores próximos a barragens da Usina do Rio do Peixe. Para tanto, na pesquisa de campo, inicialmente a Usina Rio do Peixe enviou dados sob a forma de mapeamento prévio da Zona de Auto Salvamento (ZAS). Posteriormente, foram instaladas as Estações Remotas em pontos estratégicos definidos pela Usina, seguidas das simulações a campo aberto, para validar o nível de pressão sonora de no mínimo de 70 dB. Os resultados apontam que o SNE-T é eficaz, seguro e confiável, considerando que todas as três medições foram acima de 70 dB, atendendo as exigências da Política Nacional de Segurança de Barragens. Importante relatar que pelo sucesso do SNE-T, infere-se que a tecnologia inovadora do sistema de alerta emergencial, analisado nesta pesquisa, é confiável, eficaz e seguro, além de ser financeiramente viável.

Palavras-chave: Alerta Sonoro. Auto salvamento. Notificação Emergencial.

ABSTRACT: *The growing number of plants located close to habitable zones has currently opened room for the need of containing risks and their factors, since they can be the cause of ruptures in dams and put the population living close to downstream areas in danger due to likely environmental hazards. The aim of the present study is to assess the installation of a high-power sound alert system developed to announce emergency evacuation of populations living close to Rio do Peixe plant's dams. In order to do so, Rio do Peixe plant sent data from maps of the Self-Rescue Zone (ZAS) and they were collected over the field research. Subsequently, Remote Stations were installed in strategic spots set by the Plant. This procedure was followed by open-field simulations to validate the sound-pressure level in 70 dB, at least. Based on the results, SNE-T is effective, safe and reliable, if one bears in mind that all three measurements reached levels higher than 70 dB. These values meet the requirements by the National Policy for Dam Safety. It is important reporting that the researcher and TELEVALE were awarded, in 2022, with the National Innovation Award for SNE-T's success. This award was endorsed for the technical, acoustic and technological aspects, as well as for the low SNE-T's production and implementation cost, since it was 100% nationally developed. The herein analyzed innovative emergency alert system technology is reliable, effective and safe, in addition to being financially viable.*

Keywords: Sound Alert. Self-rescue. Emergency Notification.

INTRODUÇÃO

No contexto brasileiro, as usinas de mineração têm reconhecido a importância do alto padrão de qualidade na construção de barragens de rejeitos, motivo pelo qual as mineradoras têm investido em inovações tecnológicas, para adequar a segurança do entorno, por meio de emissão sonora eficaz em zonas de auto salvamento (ZAS) e evacuação em massa. Para tanto, diversas empresas têm desenvolvido sistemas de alerta sonoro, com destaque para Tele Comunicações do Vale do Rio Grande Ltda – TELEVALE, que recentemente desenvolveu, validou e disponibilizou um sistema de alerta sonoro inovador e premiado, com o diferencial de uma tecnologia wireless com componentes 100% nacionais.

Antes de desenvolver o sistema de Notificação de Emergência da TELEVALE (denominado sumariamente de SNE-T), este estudo partiu do princípio de que: “As estruturas projetadas para armazenar os rejeitos de mineração estão cada vez maiores e mais volumosas” (Guedes; Schneider, 2018). Esse levantamento prévio, realizado pela empresa, justifica-se pelo aumento de risco potencial da população a jusante, a exemplo das famílias que residem no entorno da Usina Rio do Peixe (Nova Lima – MG), onde o SNE-T foi instalado e validado.

Ao projetar, produzir e testar um sistema de alerta sonoro, compatível com as demandas da referida Usina, buscou-se respaldo nas teorias e práticas em inovações tecnológicas no cenário brasileiro. Após simulações, avaliação e análises de todos os componentes produzidos pela TELEVALE, pesquisas a campo foram realizadas, a fim de validar o alcance da alta potência acústica na emissão de alertas do SNE-T, considerando, inclusive, as diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

No presente estudo, em conformidade com a Lei Federal 12.334, de 20 de setembro de 2010 (modificada pela Lei 14.066/2020), apresenta-se como proposta inovadora a aplicabilidade de um sistema de alerta sonoro que além de componentes wireless com funcionamento por radiofrequência, possui, ainda, o gerador solar para alimentar o SNE-T. Como toda política nacional, o PNSB tem por finalidade consolidar padrões de segurança, aumentando as oportunidades de auto salvamento e evacuação em massa, ao regulamentar ações e padrões de qualidade (Lima, 2020), sobretudo por meio de aparatos tecnológicos inovadores e eficientes.

Diante das necessidades prementes de se evitar desastres ambientais decorrentes de rupturas de barragens em mineradoras, esta proposta de análise de sistema de alerta sonoro a campo aberto justifica-se ao trazer para discussão: em que medida as inovações tecnológicas podem auxiliar no auto salvamento no entorno de usinas que possuem a atividade mineradora como base do empreendimento. Considerando os acidentes de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), é importante não apenas simular, mas principalmente validar um sistema de alerta acústico, cuja potência sonora contribui para o auto salvamento do maior número de pessoas possível, evitando perda de vidas, já que a segurança é tão necessária, quanto a lucratividade.

Feitas as considerações preliminares, este estudo tem por objetivo avaliar a implementação de um sistema de alerta sonoros de alta potência desenvolvido para notificação emergencial de evacuação da população em massa de moradores próximos a barragens da Usina do Rio do Peixe.

REFERENCIAL TEÓRICO

Atualmente, a mineração produz impactos urbanos e econômicos, por meio da oferta de trabalho e tributação de impostos, contribuindo para o desenvolvimento de regiões via extração de minérios, mas há possibilidades consideráveis de ocorrer desastres, modificando, significativamente, o cotidiano das cidades, ampliando o risco de óbitos em massa, principalmente da população a jusante (Franco; Santos; Moura, 2021). Inovações tecnológicas para maior segurança da população e que possibilita um auto salvamento eficaz são, na contemporaneidade, estratégias de suma importância tanto na atualização de tecnologias, quanto na produção de novos aparatos de alerta sonoro. Associa-se, nesta pesquisa, segurança, tecnologia e inovação como referencial teórico-prático, desde o projeto técnico até a validação de novas patentes para auto salvamento

Segurança e tecnologias

Em se tratando da população a jusante, os riscos potenciais sempre estiveram presentes no entorno das mineradoras, porém a vulnerabilidade frente às rupturas das barragens tem-se ampliado com o aumento exponencial da produtividade. Nas barragens, os riscos não estão associados somente às rupturas, mas também ao escoamento rápido e sem possibilidade de contenção dos rejeitos. Nessa perspectiva, as estratégias de auto salvamento eficazes são mais evidentes, quando as usinas utilizam sistemas de alerta sonoro infalíveis e com grande abrangência local (Brito; Costa, 2021). De fato, no setor de segurança e no desenvolvimento de novas tecnologias para auto salvamento, busca-se prevenir contra o risco de os rejeitos alcançarem a população, por meio de sistemas tecnológicos validados e eficientes, que possibilitam, prontamente, a evacuação em massa dos residentes próximos ao entorno das usinas.

Quando se busca minimizar ou eliminar as consequências de um provável evento de ruptura em barragens, diferentes tecnologias informatizadas têm sido largamente utilizadas para a simulação, testagem e validação de todo o processo de propagação de ondas sonoras de longo alcance, imediatamente após a ruptura. Do mesmo modo, as tecnologias de segurança em simulação numérica oportunizam reproduzir uma situação hipotética, com a finalidade de testar a precisão técnico-tecnológica (Bastos *et al.*, 2022). Em diferentes zonas de auto salvamento, pode-se utilizar os decibelímetros para mensurar a potência dos equipamentos e seu alcance territorial, como uma das principais medidas de segurança e de alerta à população.

Segurança e suas tecnologias devem integrar a “cultura nacional de prevenção de desastres, estimular comportamentos capazes de estabelecer medidas preventivas de segurança contra desastres em áreas de risco” (Rocha, 2017). Com efeito, as tecnologias de segurança são essenciais e agregam valor estratégico ao Plano de Ação de Emergência (PAE), considerando os sistemas de alerta sonoro como integrantes de um rol de equipamentos capazes de proteger os cidadãos em áreas de risco.

Nessa linha de pensamento, um sistema de alerta instalado na ZAS necessita contar com rotinas informacionais em funcionamento contínuo, estáveis e que possam ser facilmente acionados, de forma a assegurar o alerta à toda a população, principalmente aos residentes em áreas a jusante. Ademais, uma tecnologia validada deve considerar a delimitação das áreas de risco, eliminando a margem de erro, a fim de prevenir a ocorrência

de falsos alarmes, provendo rotinas de manutenção, a fim de assegurar seu pleno funcionamento (CODEVASF, 2021).

Nos estudos de Meirelles (2018, p. 32), sobre a segurança dos sistemas de alerta de emergência em áreas de risco, encontra-se que:

É importante ressaltar que, em uma busca mais aprofundada, foram encontradas cinco patentes que possuem alguma relação com o uso de internet das coisas para monitoramento e alerta de áreas de risco. Porém, observou-se que as patentes não detalhavam as tecnologias de radiofrequência utilizadas ou utilizavam tecnologias antigas.

Ressalta-se que os dispositivos de alerta mais atuais funcionam por meio de componentes microcontrolados por computadores e aplicativos, cujas funcionalidades são acionadas, preferencialmente, por meio de radiofrequência via tecnologia wireless. Pode-se acrescentar que esses dispositivos possuem a capacidade de emitir sinais por meio de microchips de radiofrequência, para envio de alertas em tempo real. Por isso, é de suma importância referendar teoricamente às inovações tecnológicas em sistemas de notificação, para análise do SNE-T da TELEVALE.

Inovação tecnológica em sistemas de notificação emergencial

No contexto da inovação tecnológica, os modos de organização social-urbano têm sido acompanhados de ampla reestruturação demográfica e societária, entre estas a exploração de jazidas de minérios próximas às cidades, que constroem, quase sempre, uma barragem de rejeitos. Ao reportar aos avanços tecnológicos: “Vivemos em um tempo em que a ciência não mais apenas estuda, desvenda, mas também cria objetos empíricos e produz teorias que os sustentam enquanto fenômeno” (Baumgarten; Guivant, 2021). Convém lembrar que a cultura científica e seus aportes teóricos analisam as tecnologias para além da dimensão técnico-industrial (objetos empíricos), mas sim como utilidade pública (fenômeno), a exemplo dos sistemas de notificação emergencial, destinados ao auto salvamento.

Nessa linha de raciocínio, para que a notificação emergencial tenha efetividade de evacuação em massa, as tecnologias instaladas na ZAS são validadas em bases científicas, com simulação prévia, principalmente por meio de mapeamentos digitais para o posicionamento estratégico das sirenes em torres remotas. Geralmente, as notificações de emergência são emitidas por sirenes com alta performance acústica, cujo alcance do sinal depende de sua localização estratégica. Esses sinais sonoros de alerta são ativados quando ocorre a iminência de um desastre – devem atender, portanto, às condições necessárias para uma evacuação imediata, estabelecendo um estado de prontidão (CODEVASF, 2021).

Visando proporcionar o auto salvamento em tempo hábil, as sirenes de alerta sonora são potentes – o suficiente para notificar muitas pessoas, quando uma emergência estiver em curso. Nesse caso o projeto tecnológico deve ser operacionalmente consistente, de acordo com a extensão da ZAS, para assegurar sua eficácia plena (Barros, 2018). Tecnologias de mapeamento possibilitaram à TELEVALE implantar suas Estações Remotas, com as sirenes criteriosamente posicionadas, ampliando o alcance dos alertas para além das áreas de risco.

Em se tratando de mapeamento digital para posicionamento de torres de alerta sonoros em zonas de risco, conforme Campolina, Rodrigues e Silva (2021, p. 128):

Esse mapeamento configura-se como uma das estratégias das empresas minerárias para minimizar possíveis resistências ao chegarem a um território, visando convencer as comunidades locais de que a empresa se preocupa com a sociedade e com o meio ambiente. Os impactos da mineração – longe de se concentrarem apenas em torno do complexo minerário instalado – podem abranger extensos territórios e, mesmo que em intensidades diferentes, submetem milhares de pessoas a situações de vulnerabilidade.

Para que um sistema de alerta estrategicamente posicionado e instalado seja eficaz, é fundamental que haja um estudo topográfico prévio, a fim de testar o alcance do sinal sonoro (com precisão), mediante análise de eficiência, antes de o sistema ser operacionalizado definitivamente. Desse modo, é de grande relevância que toda inovação tecnológica seja avaliada, a fim de reduzir falhas, já que em uma situação de rompimento real de uma barragem, toda a zona de auto salvamento precisa escutar com nitidez os alertas emitidos pelo sistema de notificação emergencial.

Trata-se de sistemas informatizados com funções e comandos que permitem o seu acionamento a longas distâncias – cabeados ou wireless. Esses mesmos sistemas podem viabilizar o gerenciamento de dispositivos de alerta, pelas mineradoras, comandados por rotinas operacionais computadorizados (Miguel, 2021). Pode-se acrescentar que essas tecnologias inovadoras oportunizam a utilização de dispositivos integrados a um modelo mais amplo de gerenciamento de risco (Meirelles, 2018).

Ao trazer a discussão para o contexto teórico-prático da inovação tecnológica, destaca-se na literatura referenciada neste estudo, a importância das políticas de incentivo e eventos de premiação de produtos arrojados (tecnologicamente avançados), que ultrapassaram os limites técnicos, sobretudo quanto à tendência wireless (Tironi 2017; Freire; Maruyama; Polli, 2017). Tais inovações são concebidas como um meio para ultrapassar o internacionalismo de produtos tecnológicos, sempre que as tecnologias nacionais alcançarem a excelência, não apenas no que se refere à precisão científica, mas também em termos de custo-benefício, tornando-os atrativos para a produção e a comercialização em larga escala.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na coleta de dados, análises e discussão do presente estudo de campo foram realizadas simulações e testagens, com a finalidade de comprovar a eficácia e funcionalidades de um sistema de alerta sonoro para evacuação em massa, instalada na ZAS da Usina Hidrelétrica Rio de Peixe, localizada na cidade de Nova Lima (MG). Simultaneamente, foram validadas a efetividade e a consistência da tecnologia inovadora do Sistema Notificação de Emergência da TELEVALE (SNE-T), patenteado como solução técnica, para realizar notificações emergenciais à população, mediante pressão sonora de no mínimo 70 decibéis, conforme diretrizes da Política Nacional de Segurança de Barragens.

Pesquisa a campo aberto: a Usina, a ZAS e as especificidades técnicas

Na delimitação da zona de auto salvamento, os elementos topográficos e técnico-tecnológicos prévios foram levantados por profissionais da Usina Rio de Peixe, para a elaboração dos estudos e projetos iniciais, com o intuito de desenvolver uma solução tecnológica para evacuação em massa da população em áreas de risco de um eventual rompimento da barragem. Na busca por informações e dados preliminares, a produção dos mapeamentos foi essencial, para estabelecer a localização estratégica das sete Estações Remotas, integrantes do SNE-T.

Com base nessa demarcação in loco, o SNE-T foi analisado em dois componentes principais: central de operação local (COL) e Estações Remotas (ER). Quanto à COL, esta pode ser descrita como um dispositivo tecnológico, instalado em uma área segura (fora das zonas de risco), com capacidade de realizar alertas emergenciais para as ER, com tecnologia wireless, acionada por radiofrequência. Para tanto, possui botoeiras emergenciais, que ao serem pressionadas, realizam a transmissão das mensagens pré-gravadas para as ER's. No que se refere às ER's, trata-se de postes de concreto com sistema sonoro de sirenes, microcontroladores, incluindo um sistema fotovoltaico e baterias, acionadas remotamente por radiofrequência, com capacidade de transmitir alertas sonoros a longas distâncias por meio de sirenes de alto desempenho acústico.

Esses dois componentes basilares, comandados por software desenvolvido na TELEVALE, estabelecem uma comunicação informatizada: envio de sinal de radiofrequência para as ER (Figura 1), pelo posicionamento angular e altimétrico das sirenes, com alcance sonoro amplamente audível. É importante relatar que as emissões da pressão sonora, aferidas por meio de decibelímetros, foram realizadas in loco, para validar a solução técnica instalada próximas às zonas de risco.

Figura 1. Estações Remotas de Alerta.



Na simulação e testagem, identificou-se a relevância em estabelecer as coordenadas de instalação, o mais preciso possível, integrando-as aos parâmetros de análise e validação desta pesquisa, além de revelar as inovações tecnológicas agregadas

ao SNE-T. Nos testes do SNE-T, as simulações foram realizadas por meio de um conjunto de emissões, medições e análise dos alertas em decibéis, para comprovar o alcance, a segurança e a credibilidade do sistema da TELEVALE, descritas a seguir.

Validação e tratamento de dados: critérios para a análise tecnológica

Na elaboração das simulações e testagens, a composição prévia da ZAS (acima descrita) foi de suma importância para realizar testes com os componentes do SNE-T. Na pesquisa a campo aberto, as simulações de um novo produto foram imprescindíveis para prever consistências e inconsistências, as quais incluem a determinação de pontos fixos, no caso deste estudo: pontos estratégicos. Na testagem, foi possível simular e identificar a potência das ER, bem como a dispersão acústica das sirenes, com base nas seguintes variáveis:

- Coordenadas enviadas pelo cliente de 07 pontos disponíveis
- Altura das sirenes das Estações Remotas em relação ao solo: 8 metros.
- Angulação das Cornetas: Direcionadas para a ZAS
- Frequência dominante do tom de alerta sonoro: 2.000 Hz
- Sensibilidade das sirenes: 120 decibéis à 1 metro de distância
- Temperatura ambiente: 25°C
- Topologia do terreno: De acordo com mapas do Google Earth
- Umidade do ar: 30%
- Altura média do ouvinte em relação ao solo: 1.50 metros
- Pressão atmosférica: 1020 hPa.

Essas variáveis foram calibradas no software de propagação, fornecido pela TELEVALE, denominado *SoundVale*, para mensurar a efetividade do SNE-T, de acordo com as coordenadas de implantação das ER em pontos fixos. Nesses pontos fixos foram coletados os dados para validação de todo o sistema. Isso porque a capacidade das sirenes, em concentrar as pressões sonoras, evita que dispersão acústica seja alcançada em áreas indesejadas, ou seja, distantes das zonas de risco. Na realidade, os direcionamentos corretos das sirenes (essenciais em sistemas acústicos em ambientes abertos) foram fundamentais para a propagação do som, para que fosse possível proporcionar uma potência sonora capaz de abranger toda a ZAS. Na construção dos resultados da presente pesquisa, a coleta de dados foi fundamentada nos seguintes procedimentos metodológicos:

- O acionamento audível do sistema, foi realizado pela botoeira de emergência situada na COL, acionando automaticamente o alerta geral do SNE-T, em todas as sete ER;
- Foi utilizado um áudio de teste, com um tom de sirene próximo de 2.000Hz;
- Foi realizado 03 acionamentos do sistema, com duração de 01 minuto e 30 segundos cada;
- A equipe do pesquisador se deslocou para cinco coordenadas definidas para coleta de dados;
- Foram coletadas três pressões sonoras com os decibelímetros em cada ponto;

- As aferições foram registradas em uma planilha em um dispositivo móvel do pesquisador;
- Os dados foram coletados pelo pesquisador após os três acionamentos;
- O pesquisador reuniu todas essas informações em um Quadro demonstrativo de resultados, que possibilitou a confecção de um gráfico comparativo entre os cinco pontos;
- Para validação considerou-se pelo menos duas medições acima dos 70 decibéis;
- Foi elaborada uma média de decibéis aferidos dos Pontos para analisar a efetividade do sistema;

Nesta pesquisa, é importante ressaltar que as aferições e validações, aqui demonstradas, estão suscetíveis a variações externas de intempéries da natureza, tais como: ventos, resistividade do ar, pressão atmosférica, temperatura, umidade, entre outros fatores que podem interferir na aferição dos dados apresentados. Não houve identificação de variáveis externas que pudessem comprometer as simulações realizadas. Nas simulações realizadas com o SNE-T, além de comprovar a eficácia do sistema a campo aberto, as medições forneceram informações e dados valiosos para compor os resultados desta pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No contexto das inovações tecnológicas, apresenta-se um produto que foi desenvolvido com a participação e fomento da empresa TELEVALE, situada em Uberaba-MG, a qual forneceu todos os materiais para a implementação e execução do projeto tecnológico informatizado, cujos recursos materiais e financeiros possibilitaram trazê-lo para discussão, após a coleta de dados e validação diretamente na Usina. No mercado brasileiro, é relevante que as empresas procurem fomentar ideias a partir de projetos inovadores (Baumgarten; Guivant, 2021). Em um mercado competitivo, a TELEVALE exerceu um papel decisivo ao patrocinar o desenvolvimento de uma tecnologia nacional, a fim de viabilizar um elo entre projeto, execução, testagem e validação.

Resultados

Ao apresentar os resultados da pesquisa de campo, é importante especificar que os parâmetros mensurados (medições) evidenciaram as características/propriedades do sistema, demonstrando sua efetividade e variação acústica, testados com a estrutura em funcionamento. Com relação aos critérios previamente estipulados – no caso desta pesquisa o alcance sonoro e a potência acústica para o auto salvamento – as testagens e as validações demonstraram que o SNE-T é eficaz e pode ser utilizado com segurança, tanto no mercado nacional, quanto no internacional.

Neste estudo, extraído de uma pesquisa de mestrado, cujos dados foram validados e analisados, as testagens foram individualizadas em cinco Pontos estratégicos, em relação ao local em que as Estações Remotas (ER) foram instaladas, cuja variável (medição) foi a pressão sonora. Vale destacar que os cinco Pontos foram determinados em relação ao alcance acústico do sistema de alerta sonoro, também denominado de potencial acústico:

Tabela 1. Potencial Acústico das ER em Decibéis.

Local	Medição 01 (dB)	Medição 02 (dB)	Medição 03 (dB)	Média em dB
Ponto 01	86.5	82.3	71.2	80.0
Ponto 02	83.4	81.3	82.5	82.4
Ponto 03	86.2	80.2	80.2	82.2
Ponto 04	80.3	78.5	79.4	79.4
Ponto 05	87.0	73.5	80,2	80.2

Durante as testagens, para que o SNE-T fosse validado, os Pontos (01 a 05) foram definidos previamente com a Usina Rio do Peixe, antes de aferir as três medições de pressão sonora, seguindo os parâmetros da Política Nacional de Segurança de Barragens. Considerando os valores aferidos, a discussão foi realizada com base na média das três medições, comparando as variações em decibéis (dB), entre os cinco Pontos de instalação das ER na Usina Rio do Peixe.

Considerando-se que todos os pontos estratégicos tenham alcançado índices de pressão sonora acima de 70 dB, observa-se que Ponto 02 apresentou maior eficácia que os demais pontos. Por outro lado, embora o Ponto 04 tenha alcançado a menor média de validação (em comparação com os demais pontos testados), ainda assim foi acima dos 70 dB exigidos pela PNSB. Nessa perspectiva, as médias das medições de todos os Pontos validam o SNE-T, com resultados considerados entre favoráveis e muito-favoráveis, acima do esperado proposto na execução do projeto técnico. Segue-se assim, o desempenho técnico, acústico e tecnológico do referido sistema.

Com a evolução da tecnologia wireless e a expansão da confiabilidade dos sistemas informatizados, a inovação de produtos tem se tornado gradativamente mais ampliada para as empresas. No mercado brasileiro, a importância da inovação de produtos pode ser evidenciada pela grande procura de equipamentos e tecnologias avançadas, produzidos no país e regulamentados por leis relacionadas à segurança, incluindo o incentivo de premiações direcionadas ao desenvolvimento tecnológico em âmbito nacional.

Nessa perspectiva, com a otimização gradativa do SNE-T, objetivou-se um maior desempenho técnico e tecnológico, para alcançar o máximo de pressão sonora possível, visando o auto salvamento em massa. Para Azevedo (2021), de modo geral, as empresas passaram a investir em segurança, no setor em que operam, procurando incrementar o desempenho de suas atividades de forma mais segura. Nesse sentido, a terceirização de sistemas de segurança (alertas e notificações emergenciais) fundamenta-se em competências profissionais, associadas ao desenvolvimento de recursos tecnológicos, para garantir um entorno mais seguro. Na perspectiva da inovação tecnológica, o SNE-T assim se configura:

Tabela 2. Aspectos técnicos, acústicos e tecnológicos.

Critérios	Considerações	Ano
Atendimento à PNSB	Validado: atende plenamente	2022
Desenvolvimento exclusivamente nacional	Confirmado: desenvolvido conforme projeto técnico	2022
Autônomos, operadores sem fio por radiofrequência	Consistentes com a tecnologia desenvolvida e suas finalidades	2022
Alimentado por painel solar a bateria	Validado: custo-benefício e desempenho favorável	2022
Sirenes de longo alcance e desempenho	Consistente: alcance acima de 70dB	2022
Implantação em áreas remotas próximas das ZAS	Confirmado: posicionamento ideal nos pontos estratégicos	2022
Menor custo de produção e implantação	Confirmado: menor custo em relação aos importados	
Proteção e salvamento de vidas	Consistente com as finalidades do SNE-T	2022

No que se refere à análise dos critérios acima, pode-se reconhecer que o sistema de notificação de emergência (SNE-T) atende as especificidades técnicas e operacionais para o auto salvamento, portanto contribui com a segurança da população a jusante, com maior vantagem em sua produção (capital nacional). Embora os sistemas de alerta sonoro importados tenham sido os mais utilizados pela maioria das usinas, o SNE-T possui um custo de produção/execução mais acessível, validado como ideal nos Pontos estratégicos pré-definidos coletivamente, ou seja, com a participação do autor deste estudo e dos administradores da Usina Rio do Peixe.

Discussão

Na contemporaneidade, a prospecção e o desenvolvimento de novas tecnologias visam a eficiência operacional, menor custo financeiro e a segurança dos empreendimentos – o que inclui identificar os aspectos técnicos e acústicos, de um sistema de alerta sonoro com fins de notificação emergencial. Conforme estudos recentes, a viabilidade econômica de um projeto técnico contribui para maiores investimentos em tecnologia avançada, assim como seus potenciais de implementação, a fim de que novos produtos sejam transferidos para o setor produtivo-industrial (Tironi, 2017). Nesse cenário, destaca-se o papel das Instituições Científicas e Tecnológicas e de Inovação (ICTI), a exemplo da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, agentes imprescindíveis no desenvolvimento científico e tecnológico.

Com base no Quadro 01, para compreender a efetividade dos cinco Pontos estratégicos, gerada por meio de aplicativos de geoprocessamento, na constituição de um referencial espacial para instalação das Estações Remotas (ER), foi de grande relevância avaliar previamente como esses pontos se transformaram em marcações para emissão sonora na convergência entre medições, estudo acústico e tecnológico. Isso porque a

demarcação dos Pontos foi realizada em relação aos parâmetros ambientais do entorno da Usina com base em sua topologia.

Nos estudos de Bastos *et al.* (2022), pode-se afirmar que os componentes topográficos, bem como o volume que a barragem suporta são analisados como subsistemas de um ambiente demarcado, o que torna possível compreender a relação entre o poder de contenção e a dimensão espacial, em termos de segurança ambiental. Nessa concepção de segurança, o espaço se transformou em uma referência técnica, ou seja, uma demarcação tática do entorno da Usina a jusante, já que a pressão acústica aferida demonstrou que toda a ZAS da Usina é capaz de perceber e reconhecer o sinal de alerta, com margem de erro mínima, que não interfere na qualidade da notificação emergencial.

Entre outras funções estratégicas, essas demarcações acústicas (nos cinco pontos fixos; Tabela 1) funcionaram como suporte para a colocação das ER's e sua validação técnica-tecnológica, a fim de orientar a localização das emissões e pressões sonoras, além de definir os critérios essenciais (Tabela 2), que nortearam este estudo acústico. Esses pontos fixos foram imprescindíveis na avaliação da consistência do Sistema de Notificação de Emergência da TELEVALE, assim como a implementação do aplicativo e eficácia do sistema de alerta sonoro.

Nas pesquisas de Rocha (2017), encontra-se que as demarcações são escolhidas como pontos de convergência, configurando uma área em ambientes abertos, localizados em espaços topográficos mais elevados e vales (pradarias/grotas). Em pesquisas a campo aberto, é usual definir pontos de convergência para uma primeira medição, o que se revelou eficaz para que novas medições fossem realizadas, com a finalidade de corroborar a eficácia do SNE-T. Além disso, a implantação estratégica das ER permitiu analisar as possíveis inconsistências operacionais. Com efeito, dependendo da aferição, pode-se fazer testagens comparativas e, dessa forma, compor médias de pressão sonora para demonstrar a eficiência e segurança do sistema em sua totalidade.

Na sociedade tecnológica, as usinas que possuem barragens (que podem se romper) passaram a se preocupar, mais intensamente, com o desenvolvimento e instalação de tecnologias para segurança da população. Inovar implica não apenas criar um produto novo para ser inserido em um mercado competitivo, mas sobretudo oferecer segurança, consistência e credibilidade na estrutura material e nos sistemas informatizados (Franco; Santos; Moura, 2021). Em se tratando de sistemas de notificação emergencial via alerta sonoro, todo o processo passa a ser inovador, quando se oferece um produto estritamente nacional, com igual qualidade, ou até mesmo superior, aos importados.

Medições e validações são igualmente importantes, quando há a preocupação em proporcionar um ambiente seguro ao desenvolvimento das atividades de usinas com aportes tecnológicos de última geração (Meirelles, 2018). Tanto as medições e suas respectivas validações integraram o processo inovador, com também o alcance acústico registrado por decibelímetros. Ambas medições e considerações técnicas e tecnológicas contribuíram para a tomada de decisões sobre possíveis mudanças estruturais do SNE-T. Isso posto, as testagens ampliaram a credibilidade do sistema para a segurança da população onde a Usina está localizada.

Na presente pesquisa, o estudo acústico se transformou em um referencial de segurança, uma vez que foi possível verificar que as pressões sonoras (aferidas a partir do funcionamento do SNE-T) são confiáveis, motivo pelo qual o sistema pode ser utilizado em zonas de auto salvamento. Pela testagem e validação, pode-se identificar e validar a cobertura acústica, assim como as limitações técnicas dos projetos já implantados, frente

aos possíveis riscos à população e ao meio ambiente (Oliveira, 2022). Na análise do SNE-T, testes e validações foram indispensáveis, a partir de medições realizadas *in loco*, para referendar as finalidades do sistema de alerta sonoro da TELEVALE, antes de iniciar sua efetiva utilização.

Durante a análise dos dados deste estudo, apresentados nos Quadro 01 e 02, foi comprovado que o SNE-T possui credibilidade tal, que pode ser utilizado na segurança das populações a jusante. Nos casos de notificações de emergência, de acordo com Silva, Freitas e Monteiro (2018): “a logística da validação é utilizada como apoio para organizar e implantar ações de respostas rápidas, ágeis e eficazes, focando sempre na segurança das pessoas envolvidas”. Nesta pesquisa, as pessoas envolvidas são os funcionários da Usina e a população do entorno, expostos a riscos naturais.

Entre os diferenciais inovadores do SNE-T estão o acionamento por radiofrequência (tecnologia sem fio), alimentação por painéis solares e os materiais estritamente nacionais, revelando o baixo custo em sua produção e operacionalidade, integrado ao fato de ser eletronicamente informatizado. Em sistemas de notificação emergencial, o aplicativo também é parte integrante da operacionalidade e, desse modo, pode-se incluir os softwares da TELEVALE, como uma patente de inovação. Nesse caso, o manejo do software do SNE-T foi repassado aos profissionais da Usina para se inteirar sobre como operacionalizar todo o sistema e conhecer suas especificidades.

Importante complementar que o SNE-T demonstra ser promissor à otimização dos processos de segurança da Usina, uma vez que elevou os níveis de pressão sonora em mais de 79dB (valor mínimo aferido), quando o estipulado por lei seria 70dB. Na concepção de Barros (2018), as características físicas e operacionais de um sistema informatizado eleva a precisão das informações, proporcionando um diferencial competitivo às empresas e empreendimentos. Este estudo evidenciou a ampla aplicabilidade de um sistema de alerta sonoro nacional, validado por medições em cinco Pontos estratégicos, podendo ser comercializado no setor de segurança.

Para Guedes; Schneider (2018), a principal finalidade de um sistema de notificação emergencial, instalado diretamente em uma ZAS, é contribuir para a evacuação segura das pessoas, que vivem em áreas de risco, por meio de sinais acústicos de alta potência, em áreas a jusante. Trata-se de alertas emitidos tão logo a Usina perceba o rompimento da barragem. Nessa linha de raciocínio, é importante destacar, porém, que o SNE-T não monitora as barragens, para enviar notificações. Compete aos profissionais responsáveis pela segurança da Usina acompanhar as vulnerabilidades e ameaças, para acionar as ER por radiofrequência e, assim, viabilizar o salvamento dos residentes em áreas de risco.

Nessa linha de raciocínio, para Miguel (2021), as aplicações de tecnologias, cada vez mais precisas, estão presentes em vários empreendimentos e diferentes tipos de empresas, com o objetivo de minimizar os riscos, para que as pessoas não percam suas vidas em desastres inevitáveis e quase sempre inesperados. Para tanto, o SNE-T foi previamente validado, com três medições consistentes com a finalidade de evitar que o inesperado – falhas e inconsistências – possa ceifar vidas que podem ser salvas a tempo.

Ao disponibilizar e autorizar a pesquisa em inovações tecnológicas, a TELEVALE orientou que fossem realizadas medições com o intuito de validar o SNE-T, cujas pressões sonoras se mostraram satisfatórias e seguras, não apenas para eficácia do sistema, mas para averiguar seu alcance a longas distâncias e, dessa forma, proteger as populações próximas à barragem. No cenário nacional, torna-se necessário, então, práticas corporativas apropriadas e intensificadoras da segurança, com incentivos e premiações, a

fim de trazer para discussão, a importância de se desenvolver um sistema de notificação emergencial brasileiro.

CONCLUSÕES

Ao buscar respostas com base na inovação de um produto tecnológico nacional, fabricado, testado e validado no contexto brasileiro, a construção técnica e tecnológica do SNE-T possibilitou um ganho de experiência profissional para o autor deste estudo e um diferencial para a empresa TELEVALE, considerando que a testagem e simulações consolidaram a integração entre as ER e sua operacionalidade.

Um sistema de alerta sonoro é composto não apenas por materiais, mas também por aplicativos, práticas, recursos e tecnologias que têm por finalidade notificar (alertar) ameaças iminentes, para que medidas de auto salvamento possam ser efetuadas e reduzir danos e óbitos. Para tanto, antes de executar as simulações in loco, a TELEVALE levantou os pontos estratégicos para implantação das ER, mapeando áreas, a fim de apresentar um sistema tecnológico com fins de desenvolver um produto inovador: o SNE-T.

Uma das principais finalidades na testagem/validação foi prever a capacidade de resposta aos alertas sonoros, instalados estrategicamente em Pontos previamente definidos. Nesse sentido, as medições realizadas via decibelímetros, a TELEVALE pode eliminar as inconsistências, o que se pode notar ao analisar os dados e as validações apresentadas. Na realidade, as três medições mantiveram o nível de confiança no sistema analisado neste estudo e ao mesmo tempo evidenciaram que o SNE-T é válido como sistema de alerta sonoro, para fins de auto salvamento.

Novas pesquisas sobre sistemas de notificação emergencial com componentes brasileiros são de suma importância para ampliar o mercado tecnológico nacional, com inovações validadas, com custo-benefício acessível e consistentes com as finalidades a que se propõem. Isso porque o setor de segurança de barragens é essencial para que desastres como os de Mariana e Brumadinho não causem danos e perdas de tantas vidas que poderiam ser salvas.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. O. S. **Desenvolvimento de plataforma digital como instrumento de segurança de barragem**: estudo de caso na Barragem do Cobre. Salvador: UFBA, 2021.

BARROS, G. L. V. **Regular, reparar e resistir**: um estudo sobre a ação (e omissão) dos agentes envolvidos no desastre tecnológico no Vale do Rio Doce. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro: 2018.

BASTOS, A. R.; RIBEIRO, D. S.; ALBUQUERQUE, L. A. G.; MARTINEZ, C. B.; SALIBA, A. P. M. Análise preliminar dos danos à população vulnerável no vale de jusante na hipótese de rompimento de barragem: estudo de caso UHE Serra do Facão. **Anais do I Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica**, Ouro Preto, 2022.

BAUMGARTEN, M.; GUIVANT, J. (org.). **Caminhos da ciência e tecnologia no Brasil**: políticas públicas, pesquisas e redes. Porto Alegre: UFRGS, 2021.

BRITO, C. Y. P.; COSTA, V. A. **A ocupação de áreas a jusante de barragens: uma análise da vulnerabilidade populacional no município de Tucuruí-PA, Brasil.** Tucuruí: UFPA, 2021.

CAMPOLINA, D.; RODRIGUES, C.; SILVA, F. A. R. Controvérsias socio-científicas e mineração: formação cidadã crítica no enfrentamento aos processos de desastres. In: In: BAUMGARTEN, M.; GUIVANT, J. (org.). **Caminhos da ciência e tecnologia no Brasil: políticas públicas, pesquisas e redes.** Porto Alegre: UFRGS, 2021.

CODEVASF. **Manual técnico para normatizar e orientar as atividades de identificação, comunicação, prevenção e resposta a eventos de emergência.** Brasília: MDR, 2021.

FRANCO, R. M.; SANTOS, J. B.; MOURA, J. D. P. Entre crises ambientais e responsabilidade ética: os casos de Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais. **Territorium**, v. 28, n. 1, p. 129-136, 2021.

FREIRE, C. T.; MARUYAMA, F. M. POLLI, M. Políticas públicas e ações privadas de apoio ao empreendedorismo inovador no Brasil: programas recentes, desafios e oportunidades. In: TURCHI, L. M.; MORAES, J. M. **Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes, limitações e propostas de ações.** Brasília: Ipea, 2017

GUEDES, G. B.; SCHNEIDER, C. L. **Disposição de rejeitos de mineração: as opções tecnológicas para a redução dos riscos em barragens.** Rio de Janeiro: CETEM, 2018.

LIMA, V. C. V. **Delimitação das zonas de autossalvamento da mancha de dano potencial associado à barragem Bosque IV no município de Junqueiro/AL.** Maceió: UFAL, 2020.

MEIRELLES, L. V. **Projeto de uma rede de internet das coisas para monitoramento e alerta de emergência em áreas de risco.** Ouro Preto: UFOP, 2018.

MIGUEL, A. B. T. **Desenvolvimento de sistema para monitoramento da auscultação civil de barragens.** São Paulo: Mackenzie, 2021.

OLIVEIRA, L. A. P. **Fluxo de implantação do plano de ação de emergência (PAE) de barragens de armazenamento de água sob a ótica das diretrizes legais brasileiras.** Ilha Solteira: UNESP, 2022.

ROCHA, O. J. **O plano de ação de emergência: ferramenta para redução dos riscos de desastres provocados por rupturas de barragens e sua relação com os planos de contingência da defesa civil.** Niterói: UFF, 2017.

SILVA, I. T. S.; FREITAS, T. S.; MONTEIRO, V. L. Análise de tecnologias da IOT para uso em logística humanitária e busca e salvamento de pessoas: uma revisão da literatura recente. **Anais do VI CIMATEC**, São Paulo, 2018.

TIRONI, L. F. Serviços tecnológicos e política de inovação. In: TURCHI, L. M.; MORAIS, J. M. **Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes, limitações e propostas de ações.** Brasília: Ipea, 2017.

Recebido em: 14/09/2023

Aprovado em: 29/12/2023