

PROD. TEC. ITV MI – N006/2023  
DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.MI.2023.6.Freitas

## RELATÓRIO TÉCNICO ITV MI

# LOCALIZAÇÃO, MAPEAMENTO E COMUNICAÇÃO EM CAVAS DE MINAS E GALERIAS DE BARRAGENS DE GRANDE EXTENSÃO

### Primeiro Relatório Parcial do Projeto Localização, Mapeamento e Comunicação em Cavas de Minas e Galerias de Barragens de Grande Extensão

Gustavo Medeiros Freitas<sup>2</sup>  
Gilmar Pereira da Cruz Júnior<sup>2</sup>  
Arthur da Costa Vangasse<sup>2</sup>  
Gabriel Gomes<sup>2</sup>  
Sofia Pereira Campos<sup>2</sup>  
Israel Filipe Silva Amaral<sup>2</sup>  
André Luiz Maciel Cid<sup>1</sup>  
Mário César Delunardo Torres<sup>1</sup>  
Nilton Costa Pereira de S Thiago Neto<sup>1</sup>  
Renato Silva Pereira Júnior<sup>1</sup>  
Luiz Guilherme Dias de Barros<sup>1</sup>  
Jacó Dias Domingues  
Gustavo Pessin<sup>1</sup>

Belo Horizonte/ MG  
Agosto/2023

<b>Título:</b> Localização, mapeamento e comunicação em cavas de minas e galerias de barragens de grande extensão.	
<b>PROD. TEC. ITV MI – N006/2023</b>	<b>Revisão</b>
<b>Classificação:</b> ( ) Confidencial ( ) Restrita ( X ) Uso Interno ( ) Pública	<b>01</b>

**Informações Confidenciais** - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

**Informações Restritas** - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

**Informações de Uso Interno** - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

**Informações Públicas** - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

**Nota de capa**

1 ITV, 2 UFMG

**Citar como:** FREITAS, Gustavo Medeiros *et al.* **Localização, mapeamento e comunicação em cavas de minas e galerias de barragens de grande extensão.**

Ouro Preto: ITV, 2023. (Relatório Técnico – N006/2023).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

F936I	<p>Freitas, Gustavo Medeiros Localização, mapeamento e comunicação em cavas de minas e galerias de barragens de grande extensão. Gustavo Medeiros Freitas... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2023.</p> <p>148 p.: il.</p> <p>Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2023 PROD.TEC.ITV.MI – N006/2023 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.MI.2023.6.Freitas</p> <p>1. Robôs de Serviço. 2. Fusão Sensorial. 3. Localização e Mapeamento Simultâneos. 4. Mapeamento de Grandes Áreas. 5. Redes de Comunicação sem Fio. I. Cruz Junior, Gilmar Pereira. II. Vangasse, Arthur da Costa. III. Gomes, Gabriel. IV. Campos, Sofia Pereira et al. V. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD.23. ed. 629.8933</p>
-------	---

## RESUMO EXECUTIVO

Este documento corresponde ao primeiro relatório técnico parcial de acompanhamento do projeto intitulado “*Localização, Mapeamento e Comunicação em Cavas de Minas e Galerias de Barragens de Grande Extensão*”, realizado pelo Instituto Tecnológico Vale (ITV) em parceria com o Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O objetivo principal do projeto busca viabilizar a utilização de dispositivos robóticos e veículos inteligentes em plantas de produção mineral, operando regiões sem sinal de GNSS, incluindo sistemas de dutos e galerias de grande extensão, lidando com escorregamento de rodas, condições dinâmicas de iluminação e falta de *features* visuais e geométricas utilizadas como referência. Os objetivos também incluem o desenvolvimento de sistemas de localização e mapeamento baseados em fusão sensorial utilizando filtros probabilísticos, além de técnicas de calibração, filtragem e identificação de *loop closure*. Além disso, soluções para melhoria de comunicação a grandes distâncias em galerias também estão sendo investigadas, incluindo o planejamento de caminhos com base na intensidade do sinal de rádio, a criação de redes de comunicação com múltiplos repetidores, e também estratégias otimizadas para a utilização de cabo umbilical. Os desenvolvimentos estão sendo realizados utilizando como referência os dispositivos robóticos do ITV. Este primeiro relatório parcial apresenta informações da equipe executora responsável pelo projeto, e descreve as soluções propostas para localização e mapeamento simultâneo, e melhoria da comunicação durante tarefas teleoperadas. O relatório descreve também os resultados prévios obtidos nesta etapa inicial de projeto, incluindo a participação em seis missões de campo bem sucedidas para a inspeção e mapeamento de áreas restritas, além do envio para análise e aceite para publicação de artigos científicos relacionados ao projeto em revistas e congressos internacional e nacional. Além disso, é apresentada também a minuta em elaboração para pedido de patente da Unidade de Mapeamento & Navegação Autônoma (UM&NA). Estes documentos estão disponíveis nos anexos desse relatório.

## RESUMO

Muitas atividades relacionadas a processos de produção mineral são realizadas em grandes áreas envolvendo estruturas e equipamentos de larga escala, por exemplo cavas de minas com caminhões fora de estrada, correias transportadoras, trilhos de trens, barragens e galerias de rejeito. A utilização de equipamentos automatizados no auxílio dessas tarefas possibilita reduzir a exposição de colaboradores a riscos envolvidos, além de aumentar a eficiência e padronização das tarefas. Vários desses equipamentos necessitam de informações precisas sobre a localização e o mapa do ambiente ao redor, além de comunicação constante com uma base de comando para a troca de dados e teleoperação. Este é o caso dos caminhões e perfuratrizes autônomas, que só operam quando suas localizações são conhecidas com precisão centimétrica. Dispositivos para inspeção de galerias de barragens também necessitam de localização precisa para a identificação georreferenciada de anomalias. Nesses casos, a localização interfere também nos mapas computados, que podem ser utilizados durante o processo de monitoramento das estruturas. Por fim, esses dispositivos necessitam de uma comunicação confiável, que possibilite a teleoperação a grandes distâncias sem interferir na mobilidade dos robôs. O projeto de pesquisa intitulado “*Localização, Mapeamento e Comunicação em Cavas de Minas e Galerias de Barragens de Grande Extensão*” tem como objetivo desenvolver soluções para localização e mapeamento utilizando estratégias de fusão sensorial com filtros probabilísticos, além de técnicas de calibração, filtragem e identificação de *loop closures* possibilitando estimativas precisas em ambientes sem sinal de GNSS, lidando com escorregamento de rodas, condições dinâmicas de iluminação e falta de *features* visuais e geométricas utilizadas como referência. Além disso, soluções para a melhoria da comunicação em dutos e galerias de grandes extensões também serão investigadas, incluindo o planejamento de caminhos com base na intensidade do sinal de rádio, a criação de redes de comunicação com múltiplos repetidores, e também estratégias otimizadas para a utilização de cabo umbilical. Esta iniciativa, realizada em parceria com o Instituto Tecnológico Vale (ITV), propõe o desenvolvimento, implementação e validação conceitual de um pacote de soluções para a navegação e comunicação em cavas de minas e sistemas de galerias de grande extensão, considerando os robôs PipeRobot, EspeleoRobô, ROSI e A1 do ITV. Estas soluções serão validadas conceitualmente por meio de simulações em ambientes representativos e experimentos de laboratório e campo.

**Palavras-chave:** Robôs de Serviço; Fusão Sensorial; Localização e Mapeamento Simultâneos; Mapeamento de Grandes Áreas; Redes de Comunicação Sem Fio; Comunicação por Cabo Umbilical; Navegação em Dutos e Galerias.