INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE

Mestrado Profissional

Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

ARTUR SILVA ALVES

Localização por Radiofrequência a Serviço da Segurança do Trabalho: Análise em Mina Subterrânea

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador:
Prof. Dr. Gustavo Pessin

BELÉM (PA)
DEZEMBRO DE 2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A474l

Alves, Artur Silva

Localização por Radiofrequência a Serviço da Segurança do Trabalho: Análise em Mina Subterrânea / Artur Silva Alves. -- Belém-PA, 2017.

53 f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2017.
Orientador(a): Dr. Gustavo Pessin

1. Mina Subterrânea. 2. Segurança do Trabalho. 3. Radiofrequência. I. Título.

CDD 23.ed.: 621.3

ARTUR SILVA ALVES

Localização por Radiofrequência a Serviço da Segurança do Trabalho: Análise em Mina Subterrânea

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

_____

Dr. Gustavo Pessin
Orientador — Instituto Tecnológico Vale (ITV/DS)

_____

Dr. Jorge Filipe dos Santos
Membro interno — Instituto Tecnológico Vale (ITV/DS)

_____

Dr. Luís Guilherme Uzeda Garcia
Membro externo — Instituto Tecnológico Vale (ITV/MI) | Ouro Preto

DEDICATÓRIA

A minha esposa Débora Alves.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tornar o improvável realidade. A minha esposa Débora Alves e a minha filha Isabela Alves, a quem amo sem medida. Ao meu orientador Gustavo Pessin, de quem tenho maior orgulho por ser exemplo de profissional, ser humano e, sobretudo, pela oportunidade concedida para a continuação e conclusão deste título. A Eduardo Carvalho e Bruno Ferreira, que me auxiliaram totalmente na coleta de dados e informações imprescindíveis para o desenvolvimento desta dissertação.

À empresa Serabi Gold, por meio de sua gerente de Meio Ambiente, Flávia Veronese, por todo o apoio pessoal e profissional para a realização desta conquista.

À Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia (Sedeme), da qual ressalto meus superiores imediatos Eduardo Leão, Marily Germano e Wilton Teixeira, que reconhecem a importância da qualificação e autorizaram-me a cursar este mestrado profissional. E, finalmente, ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), que proporcionou esta oportunidade de pesquisa.

RESUMO

A segurança na rotina de trabalho das minas é uma das maiores preocupações do setor, que constantemente se vê às voltas com acidentes de grande repercussão, muitas vezes fatais. Estatísticas oficiais apontam a mineração como quarta ocupação mais letal do país. No município de Itaituba, onde está instalada a mina subterrânea de ouro Palito, da empresa Serabi Gold, foram registradas duas mortes apenas na lavra de metais preciosos, sendo Itaituba o lugar mais perigoso do Brasil nesse tipo de atividade. Devido as características geológicas da disposição do ouro, a lavra costuma ser subterrânea, o que dificulta trabalhos de resgate em sinistros nas minas. Em face disso, o presente estudo testa e aplica a tecnologia RFID, para localizar, situar e direcionar pessoas via radiofrequência, com a finalidade de garantir segurança e preservar a integridade dos trabalhadores da mina Palito. Os testes experimentais de geolocalização de trabalhadores valendo-se da tecnologia para checar a viabilidade do processo mostraram que as etiquetas AcuTag UHF Titan Fastener e AcuTag UHF ShortDipole foram as mais bem avaliadas para o conjunto de simulações realizadas, sendo que a primeira obteve excelência em todas as simulações, desde a *tag* no capacete até colada ao braço. Esse resultado é importante porque denota a segurança conferida pelo referido aparato tecnológico, uma vez que, pela simulação em ambiente *indoor*, poderá ser possível aplicar tal método em ambiente similar, como em uma mina subterrânea, conseguindo atingir resultados de 100% de eficiência no que diz respeito à localização RFID do trabalhador num ambiente de risco. Em face desses resultados, é possível concluir que essa tecnologia se mostra eficiente e com aplicabilidade, sendo que sua implantação deve ser recomendada por meio de utilização em *tags*-pilotos nas minas, observando-se a tendência crescente de que os sistemas RFID sejam utilizados no controle e rastreabilidade de processos operacionais e na gestão de riscos, em benefício da segurança do trabalhador, especialmente em ambientes subterrâneos. Dadas essas considerações, ressalta-se que este trabalho é inédito, uma vez que não existe trabalho técnico e prático na literatura brasileira que verse sobre os benefícios da implementação da tecnologia RFID com olhar na segurança laboral de ambientes das mineradoras, especialmente em minas subterrâneas

PALAVRAS-CHAVE: Mina Subterrânea. Ambientes Fechados. Segurança do Trabalho. Redes sem Fio. Radiofrequência.

ABSTRACT

Safety in the mine work routine is one of the biggest concerns in the industry, which constantly finds itself faced by high-impact, often fatal accidents. Official statistics point to mining as the country's fourth most lethal occupation. In the municipality of Itaituba, where the Palito gold mine of Serabi Gold is located, two deaths were registered only in precious metals, Itaituba being the most dangerous place in Brazil in this type of activity. Due to the geological characteristics of the ore body, the extraction, is usually underground, which makes it difficult to recover from accidents in the mines. As a result, the present study tests and applies RFID technology to locate and direct people via radiofrequency, in order to guarantee safety and preserve the integrity of Palito mine workers. The experimental tests of geolocation of workers using the technology to check the feasibility of the process showed that the AcuTag UHF Titan Fastener and AcuTag UHF ShortDipole labels presented the best performance set of simulations performed, the first one obtained excellence in all simulations, from the tag on the helmet to the arm. This result is important because it denotes the safety conferred by said technological apparatus, since, by simulation in an indoor environment, it is may possible to apply such a method in a similar environment, as in an underground mine, achieving results of 100% efficiency With respect to the RFID location of the worker in an environment of risk. In view of these results, it is possible to conclude that this technology is efficient and technically applicable, and its implementation must be matured through use in pilot tags in the mines, observing the growth trend of RFID systems which are being used to control and mantain traceability used in the control and traceability of operational processes and risk management, for the benefit of worker safety, especially in underground environments. Given these considerations, it is noteworthy that this work is unprecedented, since there is no technical and practical work in the Brazilian literature to see the benefits of the implementation of RFID technology with a look at the job security of mining environments, especially in underground mines

KEYWORDS: Underground Mine. Confined spaces. Workplace safety. Wireless Networks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Área em que se localizam as minas da Serabi Gold **12**
Figura 2 — Placa Intel Edison utilizada nos testes com Wi-Fi e *Bluetooth* **24**
Figura 3 — Cenário de teste da funcionalidade das *tags* na garagem do ITV **27**
Figura 4 — Cenário de teste da funcionalidade no laboratório do ITV **31**
Figura 5 — Esquema da mina com localização por bloco **32**
Figura 6 — Arquitetura de atores e serviços com suas conexões **34**

LISTA DE QUADROS E TABELA

Quadros

Quadro 1 — Etiquetas RFID testadas **17**

Quadro 2 — Antenas RFID testadas **22**

Quadro 3 — Apresentação geral das medições para sinal entre etiquetas e antenas **26**

Quadro 4 — Etiquetas com resultados mais significativos para o trabalho **27**

Quadro 5 — *Tags* selecionadas por resultados mais expressivos em 7,5 m e 9 m **28**

Quadro 6 — Potencial de localização considerando-se a disposição das etiquetas na indumentária e no braço do trabalhador **29**

Quadro 7 — Potencial de localização considerando-se a disposição do Beacon na indumentária e no braço do trabalhador

Quadro 8 — Sistema de localização por bloco: exemplo da mina Taquari-Vassouras **32**

Tabela

Tabela 1 — Pontos relevantes para decisão qualitativa sobre a implantação do sistema RFID, com base nas simulações feitas em ambiente *indoor* **35**

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITV	Instituto Tecnológico Vale
MME	Ministério de Minas e Energia
MPS	Ministério da Previdência Social
RFID	*Radio Frequency Identification*
UHF	*Ultra High Frequency*

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**1**
1.1	OBJETIVO GERAL	2
1.1.1	**Objetivos Específicos**	**3**
2	**REFERENCIAL TEÓRICO E TRABALHOS RELACIONADOS**	**4**
2.1	LOCALIZAÇÃO EM REDES DE SENSORES	5
2.2	TECNOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO *WI-FI* E *BLUETOOTH*	6
2.3	LOCALIZAÇÃO DE PESSOAS UTILIZANDO-SE RFID	8
2.2.1	**Vantagens da rede sem fio RFID**	**10**
3	**MATERIAIS E MÉTODOS**	**12**
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	12
3.1.1	**Dados relacionados à mineração em Itaituba**	**13**
3.1.2	**Dados relacionados a acidentes de trabalho em Itaituba**	**14**
3.1.3	**Dados relacionados à Mina Palito**	**15**
3.1.4	**Correlação dos dados com a implantação da estratégia tecnológica**	**15**
3.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ETIQUETAS	16
3.2.1	**Tipos de etiquetas**	**17**
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ANTENAS	21
3.3.1	**Tipos de antenas**	**22**
3.4	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA *BLUETOOTH*	**24**
3.4.1	**Placa Intel Edison**	**24**
3.4.2	***Beacon* com acelerômetro**	**24**
4	**RESULTADOS E DISCUSSÕES**	**26**
4.1	AVALIAÇÃO DO SISTEMA RFID SIMULANDO AMBIENTE *INDOOR*	27
4.2	AVALIAÇÃO DO SISTEMA *BLUETOOTH* SIMULANDO AMBIENTE *INDOOR*	31
4.3	AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DOS SISTEMAS *WI-FI* E *BLUETOOTH*	32
4.4	AVALIAÇÃO DO SISTEMA RFID NA MINA PALITO	34
5	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	**36**
	REFERÊNCIAS	**37**

1 INTRODUÇÃO

A mineração é considerada uma das atividades mais perigosas da história. Séculos atrás, trabalhar no setor era condição de castigo e parte da pena para os piores criminosos (RAMAZZINI, 2000). Ainda assim, aqui no Brasil, ela é sustentáculo da economia por ter movimentado 36,6 bilhões de dólares em exportações em 2016, o equivalente a 20% das transações comerciais do país (MME, 2017).

O trabalho nas minas[1] sempre ofereceu riscos como soterramentos, afogamentos, atropelamentos, intoxicações e doenças (pneumonia, tuberculose e outras) típicas da atividade extrativa. Ao longo do Século 20, por exemplo, foram registrados mais de 100 mil óbitos na mineração dos Estados Unidos (SOUZA, 2012).

No Brasil, os dados mais recentes do Ministério da Previdência Social (MPS), divulgados em 2017 por meio da atualização das “Estatísticas de Acidentes de Trabalho” com alusão a 2015, apontam que a taxa de acidentes no setor mineral é, em média, de 2,7 incidências por 100 trabalhadores, a quarta maior entre as ocupações. Foram quase 62 mil registros entre 2006 e 2015.

As minas subterrâneas são campeãs em acidentes, particularmente pelas características operacionais. No caso das minas subterrâneas de ouro, que é unidade de análise desta pesquisa, elas são ambientes com restrição de acesso, consideradas de alto risco e de difícil operação de resgate em caso de incidentes, como incêndios ou deslizamentos. Por isso, torna-se fundamental conhecer a posição dos agentes que operam na mina (pessoas, máquinas, veículos) visando à criação de sistemas que permitam aumentar a segurança da operação, bem como auxiliar na elaboração de planos de resgate (AMORIM, 2015; FERREIRA et al., 2016).

Nos últimos 15 anos, diversos sistemas de localização foram propostos e implementados nas empresas baseados, geralmente, em uma das diversas tecnologias de radiofrequência existentes (*Bluetooth*, *Zigbee*, Wi-Fi, etc.). Poucos trabalhos, contudo, dedicaram-se analisar detalhadamente a utilização de múltiplas tecnologias objetivando localizar trabalhadores em ambientes internos, observando-se as vantagens operacionais e os desafios impostos pelas minas subterrâneas.

Diante desse cenário, será objeto desta dissertação a implementação de uma estratégia de engenharia por rede sem fio, via identificação por radiofrequência (ou

[1] De acordo com Santos (2012, p. 9), houve um tempo em que os mineiros chamavam as minas de “comedoras de homens”.

simplesmente RFID), na mina subterrânea de ouro Palito, município de Itaituba, no oeste do Estado do Pará, percebendo-se as estatísticas oficiais de acidente de trabalho mais recentes do setor e a importância do instrumento de análise da pesquisa para a garantia das condições laborais dos envolvidos no processo extrativo de ouro subterrâneo da empresa Serabi Gold[2].

O interesse em desenvolver este tema tem inspiração na dissertação de mestrado de Carvalho (2016), que buscou método de localização alternativo ao GPS para emprego em ambientes internos. É, também, interesse intrínseco ao olhar perspectivo da Engenharia de Segurança do Trabalho, campo com referencial teórico ainda em construção para diferentes análises. Além disso, destaca-se que, aqui no Pará, carece de aprofundamento e constantes pesquisas em setores como a mineração, esta responsável por 87% das exportações do Estado.

Ressalte-se que este é um estudo pioneiro para a mineração subterrânea paraense e, de igual maneira, traz dados estatísticos inéditos para a região pesquisada, dados que poderão servir no futuro para nortear políticas públicas direcionadas à qualidade da segurança do trabalhador da mineração, em nível local ou em abrangência para além dos domínios regionais.

Ademais, é importante destacar que muitas questões podem ser consideradas na investigação do problema da localização. Por isso, os esforços serão focados em uma questão específica:

- Como a localização pode ajudar na segurança do trabalhador?

Com o objetivo de investigar possíveis respostas a essa pergunta, será implementada e avaliada uma arquitetura de rede sem fio para realizar a localização na mina de Palito baseada em modelo de propagação do sinal de radiofrequência, cujo detalhamento será feito no Capítulo 4 desta dissertação.

1.1 OBJETIVO GERAL

Testar e aplicar tecnologia de localização via radiofrequência que seja viável e tenha implementação prática e barata, capaz de localizar pessoas, preservar a

[2] A companhia funciona no país com o grupo Serabi Mineração, que possui duas minas em Itaituba.

integridade dos trabalhadores e garantir segurança nas instalações de uma mina subterrânea.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Produzir um panorama sobre a mineração e acidentes de trabalho no setor, no município de Itaituba, que seja útil para estudos futuros multidisciplinares, para análises empresariais e para políticas públicas na área de segurança do trabalho.
- Compor referencial teórico acerca das tecnologias empregadas em minas subterrâneas capazes de atender as exigências de segurança do trabalho.
- Investigar e desenvolver arquiteturas para localização de pessoas e objetos, utilizando-se sinal de rede sem fio, via tecnologia RFID.
- Realizar estudo de arquitetura específica de rede sem fio em ambiente simulado similar ao da mina subterrânea de ouro Palito da Serabi Gold, no município de Itaituba, oeste do Pará.
- Perceber de que maneira as tecnologias de localização são úteis à atividade minerária e quais os ganhos de sua adequada aplicação para o setor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E TRABALHOS RELACIONADOS

Minas subterrâneas possuem limitações de acesso que são desafiadoras em caso de acidentes, como deslizamentos de terra ou incêndio. Buscando aumentar a segurança e capacidade de resgate, é imprescindível a implementação e o uso constante de qualquer tecnologia de localização (MAFRA JÚNIOR e MADEIRA, 2005).

Dadas as contradições da indústria extrativa (de ser um pilar econômico, mas potencialmente danosa aos trabalhadores; de remunerar bem o trabalhador formal, mas o expor a risco de morte), vários autores têm envidado esforços na busca por um limiar que equilibre a utilidade da mineração com os padrões de segurança, notadamente para os colaboradores das empresas.

Estudiosos como Carvalho (2016), Santos (2012), Guasti (2012) e Ramazzini (2000) têm trabalhos sobre ou relacionados com minas subterrâneas e suas adversidades, chamando atenção para propostas voltadas pela segurança dos profissionais que nelas trabalham. Assim, estão em desenvolvimento no Brasil, em diversas instituições, várias frentes de estudos que relacionam a importância de métodos tecnológicos precisos com a segurança de trabalhadores da mineração.

Entre 2014 e 2016, foram produzidas diversas dissertações e teses sobre segurança do trabalho no Brasil, sendo apenas uma delas relacionada à mineração ("Implementação de Sistema de Gestão Integrada a partir da ISSO 9001: Um Estudo de Caso para Indústria de Mineração"[3]). Examinando um período mais extenso, dos últimos seis anos, verifica-se que o número de produções científicas não passa de 200, sendo apenas duas relacionadas à mineração, mas sem a associação com o caráter tecnológico (CAPES, 2017).

Aqui no Pará, Carvalho (2016) discorreu em sua dissertação sobre a proposta de uma solução tecnológica para ambientes fechados, com base em sinais de potência da rede sem fio e abriu caminho para estudos similares. Entretanto o autor focou basicamente a sua pesquisa na dinâmica arquitetônica da fluência das redes e não fez ilação ao setor mineral.

[3] Dissertação de mestrado profissional em Tecnologia Mineral pela Universidade Federal do Pampa, assinada por Dirceneia Roberto de Barcellos.

Nesta pesquisa, o referencial teórico persegue a viabilidade da tecnologia por radiofrequência em benefício da segurança do trabalho em uma mina subterrânea de ouro.

2.1 LOCALIZAÇÃO EM REDES DE SENSORES

As redes de sensores tornaram-se vitais na mineração no momento em que o avanço da tecnologia exigiu integração entre homens, máquinas e sistemas de controle. Para haver eficiência na produção, são necessárias constantes trocas de informações, de maneira rápida e segura, entre os agentes do processo produtivo. Assim, é possível controlar as estratégias com maior agilidade (GUASTI, 2012).

Por essa razão, a criação de uma tecnologia de baixo custo e fácil manuseio para localização de pessoas em minas subterrâneas torna-se essencial, em prol de quais trabalhos com aplicações reais vêm ganhando mais espaço, mirando soluções para acidentes laborais. Aliás, a segurança de pessoas em ambientes fechados pode ser aprimorada mediante um sistema de localização. Isto considerado, algumas pesquisas têm sido realizadas para propor soluções a esta situação, com destaque para o recente trabalho de Carvalho (2016), que faz extensa revisão de literatura sobre as tecnologias disponíveis para a localização de pessoas.

Entre a gama tecnologias/soluções de geolocalização física e virtual disponível, a tecnologia de redes *wireless*[4] é, atualmente, a mais aceita nas indústrias e tem se mostrado alternativa às redes convencionais ou cabeadas por fornecerem as mesmas funcionalidades, com a vantagem de serem flexível e de fácil implantação. Contextualizando Guasti (2012) ressalta que nas empresas mineradoras, os sistemas *wireless* eram utilizados somente para aquisição de dados. Porém, com o desenvolvimento de novos padrões de redes sem fio, a comunicação tecnológica adquiriu novas aplicações, como o controle de plantas industriais e o monitoramento de máquinas e pessoas via ondas de rádio.

---

[4] *Wireless*, em inglês, quer dizer “sem fio”. Qualquer conexão que não dependa de cabos para a troca de informações pode ser chamada de *wireless*, como o *Bluetooth* (presente na maioria dos *smartphones*), infravermelho (em sistemas de alarmes e travas de carro) e o próprio RFID, uma tecnologia de radiofrequência que permite troca de dados sem necessidade de fios condutores. Ainda assim, toda tecnologia RFID é *wireless*, mas nem toda tecnologia *wireless* é RFID (SEUFITELLI et al. 2009).

Mata (2006) observa que, entre os dispositivos mais comuns utilizados na indústria extrativa mineral, o *Zigbee* [5]foi desenvolvido para aplicações em aquecimento, ventilação e condicionadores de ar como alternativa ao uso do *Bluetooth*[6], que possui baixa potência e sinal limitado. Esse padrão preza pelo baixo consumo, o que confere maior autonomia a equipamentos alimentados por baterias. O *Zigbee* opera em taxas mais baixas e é mais robusto contra interferências no sinal que as ondas de rádio e o *Bluetooth*. Mas dada a baixa potência de seus transmissores, a distância é limitada a pouco mais de 100 metros, quesito no qual o RFID leva vantagem.

Em todo caso, "ao se escolher uma tecnologia *wireless*, as indústrias buscam, de maneira geral, o melhor equilíbrio de desempenho entre consumo energético dos transmissores, velocidade de transmissão de dados e confiabilidade, sempre associados às necessidades específicas e inerentes de cada aplicação" (GUASTI, 2012, p. 15), e no caso da mina subterrânea Palito, a principal especificidade é a localização de pessoas em ambiente hostil que respeitem pela segurança do trabalhador.

De acordo com Tres e Becker (2009), o uso de redes sem fio na indústria não é motivado apenas pela retirada dos cabos (fonte constante de manutenção no chão de fábrica), mas também pelas próprias aplicações, como no caso veículos autônomos de transporte, nas manutenções a distância nas minas subterrâneas, onde se torna imprescindível a comunicação com o trabalhador. A ausência de cabeamento facilita a reordenação de equipamentos e o aproveitamento espacial livre em casos de emergência e acidentes.

Carvalho (2016) observa que existem duas abordagens mais comuns a partir do uso de redes sem fio para a localização de pessoas: uma abordagem pessoal, na qual um sensor acoplado na pessoa estima a sua própria posição em relação a uma

---

[5] A tecnologia de rádio ZigBee é projetada para reduzir custos e consumo de energia assim como o Bluetooth. A sua especificação é baseada no padrão IEEE 802.15.4. O ZigBee permite comunicações robustas e opera na frequência ISM (Industrial, Scientific and Medical), sendo na Europa de 868 MHz (1 canal), 915 MHz (10 canais) nos Estados Unidos e 2,4 GHz (16 canais) em outras partes do mundo, e não requerem licença para funcionamento, então pode ser usado em todo o mundo, sem quaisquer problemas de licenciamento (NENOKI, 2013).

[6] Bluetooth é um padrão de comunicação sem fio de curto alcance, baixo custo e baixo consumo de energia que utiliza tecnologia de rádio. Sua especificação é aberta e está publicamente disponível (SIQUEIRA, 2006).

rede de sensores sem fio; e uma abordagem de rede, em que esta calcula a posição das pessoas dentro do ambiente e informa a localização a pessoa ou a um sistema.

2.2 TECNOLOGIAS DE LOCALIZAÇÃO WI-FI E *BLUETOOTH*

Os sistemas de localização e microlocalização de pessoas em ambientes fechados têm sido programados por meio de diversas infraestruturas. Há pelo menos duas décadas, pesquisadores desse campo vêm realizando esforços visando ao aumento da precisão da geolocalização. De acordo com Menegotto (2015), entre os sistemas que foram propostos, alguns utilizam infraestruturas baseadas em emissores de radiofrequência, outros são baseados em sinais de ultrassom e há ainda os que utilizam sinais infravermelhos.

Pode-se dizer que os dispositivos móveis — como cartões magnéticos, *laptops*, *tablets* e *smartphones* — são um dos elementos que integram a infraestrutura nas diversas soluções de localização indoor e que as técnicas de inferência adotadas evoluem em paralelo às funcionalidades desses dispositivos. Recentemente, os *smartphones* foram equipados com funções específicas que permitem desenvolver sistemas para localizar usuários e objetos a partir de um leque de opções que incluem a tradicional leitura e trilateração de sinais de radiofrequência das redes Wi-Fi, até soluções combinadas, nas quais participam os acelerómetros e outros sensores presentes no aparelho (MENEGOTTO, 2015).

Não obstante o vasto leque de possibilidades, alguns pesquisadores têm observado que a localização em ambientes fechados ainda não é adotada em grande escala. Lamarca et al. (2005) apontam que algumas dificuldades impedem que a localização *indoor* seja mais difundida, justamente nos locais onde mais presentes estejam as pessoas e onde os sistemas baseados em GPS oferecem método de localização impreciso. Esses autores denotam os seguintes fatores: alto custo inicial da infraestrutura necessária; calibração demorada dos sistemas; escassez de aplicativos; e poucas encomendas de sistemas sob medida.

Na visão de Menegotto (2015), a elevada taxa de consumo de energia das baterias dos aparelhos, necessária para manter ativos os processos de localização, também pode ser apontada como um dos pontos críticos dos métodos clássicos, tanto em ambientes externos, via GPS, quanto nos ambientes fechados, a partir da leitura de sinais de radiofrequência emitidos por pontos de acesso das redes Wi-Fi.

Por seu turno, o *Bluetooth* é uma tecnologia desenvolvida para criação de redes pessoais cujas principais características são alcance de comunicação limitado (dez metros para dispositivos celulares, por exemplo) e baixo consumo de energia. Segundo Rodrigues (2011), o padrão foi criado originalmente pela companhia Ericsson, em 1994, com o intento de desenvolver alternativa sem fio para cabos de transmissão de dados a fim de possibilitar colaboração entre diferentes áreas, como a indústria de computação e de telefonia celular.

Hoje, a administração e os contínuos desenvolvimentos do padrão estão sob responsabilidade de um grupo de várias companhias, o Bluetooth SIG (*Bluetooth Special Interest Group*). A tecnologia popularizou-se e, atualmente, praticamente todos os celulares e *notebooks* possuem interfaces *Bluetooth*, cujos sistemas de localização são semelhantes aos sistemas baseados em Wi-Fi. A principal diferença é o alcance dos dispositivos e o número de dispositivos disponíveis no ambiente. Quando se utiliza Wi-Fi, o número de dispositivos é maior porque eles também funcionam como infraestrutura de rede. (RODRIGUES, 2011).

Ademais, os sistemas de localização baseados na tecnologia *Bluetooth* têm potencial considerável, já que a sua presença em dispositivos computacionais tem aumentado nos últimos anos. O baixo alcance dos dispositivos, entretanto, pode limitar a utilização de *Bluetooth* para construir sistemas de localização.

2.3 LOCALIZAÇÃO DE PESSOAS UTILIZANDO-SE RFID

Os procedimentos de identificação automática se tornaram muito populares nos últimos anos em diversos setores de serviços, compras, logística de distribuição, indústria e sistemas de fluxo de materiais. A etiqueta de código de barras, que revolucionou os sistemas de identificação anos atrás, já é considerada obsoleta para um grande número de situações. Mesmo com a vantagem de ser extremamente barata, a etiqueta de código de barras tem baixa capacidade de armazenamento e não pode ser reprogramada (DESCALZO, SILVA E CLEMENTE, 2011).

A solução ideal seria o armazenamento de dados em um chip de silício e a transferência desses dados entre o dispositivo de transporte e o leitor, utilizando a tecnologia sem contato. É nesse cenário que desponta a tecnologia RFID, como estratégia eficiente que tem feito cada vez mais parte do cotidiano e está presente desde as aplicações mais básicas até as sofisticadas e complexas, podendo ser

implantada em diversas áreas e em vários segmentos econômicos, como aeroportos, farmácias, lojas, supermercados, retíficas, livrarias, arquivamento, hospitais, controle de acessos, veículos, animais e pessoas.

Atualmente, o grande desafio de empresas mineradoras que possuem atividades subterrâneas é aumentar a eficiência, reduzindo os custos e garantindo a qualidade operacional das minas que explora, por meio da disponibilidade de equipamentos e material humano no tempo certo e no local desejado, com o menor custo de operação. Por isso, mineradoras têm investido consideravelmente em novas tecnologias, com a finalidade de assegurar a eficiência dos processos na cadeia logística. A partir disso, ano a ano, "ganham mais destaques as tecnologias emergentes como a *Radio Frequency Identification* [7](RFID), amplamente utilizada na cadeia logística das grandes empresas mundiais" (ROSA, 2006).

Esse é um conteúdo, dentro do campo de estudo técnico-científico, que vem sendo testado constantemente em nível acadêmico. Nos últimos cinco anos, foram concluídas 112 teses ou dissertações sobre a tecnologia por radiofrequência, investigando a eficiência desse instrumento desde aplicações em crachás funcionais até para controle de estoque em almoxarifado. Em 2016, foram contabilizadas 20 produções acadêmicas sobre RFID (CAPES, 2017).

No entanto, apesar de o tema RFID já contar com o histórico de produções científicas depositadas em repositórios de renomadas instituições acadêmicas e se encontrar em franca consolidação de um referencial teórico genuíno, nenhum trabalho há correlacionando essa tecnologia com a segurança do trabalho em ambiente de mineração, mostrando que é possível colocar a tecnologia a serviço de salvar vidas em atividades de alto risco.

A tecnologia baseada em radiofrequência é bastante compatível com a atividade laboral na mineração, uma vez que não possui as restrições inerentes a outras formas de monitoramento, como a leitura de códigos de barras via instrumento ótico, processo já consolidado em diversos setores, mas que se torna difícil para objetos em movimento.

[7] A RFID é um termo genérico utilizado para um conjunto de tecnologias que usa radiofreqüência e micro-chip na comunicação de dados, permitindo identificar alguma coisa. É, portanto, uma tecnologia que pode substituir a tecnologia de identificação por código de barras (VIEIRA, 2007).

Segundo Descalzo, Silva e Clemente (2011), a RFID é uma classe de tecnologia em que a troca de dados é realizada com praticidade, sem envolver fios, cujos dados são gravados em um chip (também chamado de *tag*, que significa etiqueta em inglês), lidos pelo leitor (ou codificador) que encaminha os sinais de radiofrequência a uma antena. O encaminhamento dessas informações é automático, portanto, não é necessária a intervenção de operador para início da leitura da RFID.

Os autores lembram que, entre as tecnologias de aplicação cotidiana, a RFID pode ser empregada para localização de trabalhadores em ambientes internos, valendo-se da frequência de rádio para determinar posições de pessoas dentro de uma mina, por exemplo. O erro na precisão de localização da RFID, dependendo do tipo de ambiente e da posição das antenas, é de 2 metros.

Ao observar os trabalhos de Ferreira (2016), de Jekabsons, Kairish e Zuravlyov (2011) e de Yamasaki et al. (2005), que versam sobre Wi-Fi e segundo os quais o erro de precisão espacial com o uso dessa tecnologia varia de 2,4 metros a 4 metros com a utilização de dez roteadores, é notória a superioridade da da localização por RFID, visto que apenas uma antena de RFID pode garantir somente 2 metros de margem de erro para a mesma funcionalidade.

Acerca da precisão, propriamente dita, Descalzo, Silva e Clemente (2011, p. 18) observam que “mais que uma ótima tecnologia, RFID é uma excelente ferramenta de negócio que ajuda a gerenciar as cadeias de suprimentos, aumentar as margens e os lucros” e que também proporciona “ambientes precisos”, em que é possível saber “exatamente a localização de insumos e de pessoas”, garantindo “maior velocidade e produtividade e redução de custos”.

Outrossim, uma dobradinha funcional do Wi-Fi e da RFID está sendo testada numa mina subterrânea de potássio (Taquari-Vassouras) no Estado de Sergipe, mas sem caráter comparativo. Não há estudo disponível explorando a utilização e eficácia dessa ação, o que cede espaço para que esta pesquisa seja inédita e acrescente ao referencial teórico já em construção a experiência de uso da radiofrequência, em prol da segurança do trabalho, na mina subterrânea Palito (PERIN, 2014).

Um outro estudo, desenvolvido numa mina a céu aberto de ferro (complexo Alegria, da Samarco) no Estado de Minas Grais, até discorre sobre a utilidade da radiofrequência e outras redes *wireless* na perspectiva científica, mas o foco são os instrumentos de trabalho, e não pessoas, como aqui se investiga.

Em 2012, a mineradora Vale desenvolveu um projeto piloto em Itabira (MG) para testar a eficiência da tecnologia de identificação por radiofrequência como instrumento para dar agilidade e eficiência no controle de sua política de segurança no trabalho. A iniciativa trouxe benefícios importantes no projeto de minério de ferro onde foi implementada (PERIN, 2014).

A mineradora Votorantim Metais também introduziu a tecnologia RFID em 2013, nas suas operações que produzem níquel e ácido sulfúrico, em Fortaleza de Minas (MG). Em 2015, a empresa disse que os ganhos foram a eliminação de presença de pessoal para orientar e priorizar o tráfego dos caminhões e a diminuição do risco de perdas materiais e humanas (ALERIGI JUNIOR, 2013)

2.3.1 Vantagens da rede sem fio RFID

Seufitelli et al. (2009) destaca que a tecnologia RFID está, a cada dia, impressionando o mercado por causa de sua versatilidade, eficiência e flexibilidade, motivo pelo qual empresas de diversos segmentos estão investindo nessa estratégia para garantir rendimentos e segurança. Na mineração, não tem sido diferente, embora estudos científicos que façam reflexões sobre a questão sejam escassos ou ainda estejam em desenvolvimento.

Entre os diversos benefícios apresentados por Seufitelli et al. (2009) e Descalzo, Silva e Clemente (2011) em relação à radiofrequência, tem-se:

- Monitoramento e coleta de dados em ambientes escuros e inóspitos, como minas subterrâneas;
- Leitura de diversos itens em alta velocidade;
- Possibilidade de a *tag* ter dados alterados de forma constante e dinâmica;
- Chips difíceis de serem falsificados;
- Redução de mão de obra no controle de equipamentos, acesso e pessoal;
- Monitoramento de processos, com precisão de dados em tempo real;
- Geolocalização de trabalhadores, para segurança e prevenção laboral;
- Possibilidade de ser usada em conjunto com outras tecnologias, como Wi-Fi.

Nogueira Filho (2005) salienta que o desempenho da tecnologia RFID é determinado, dentre outros fatores, por alcance, frequência utilizada, memória dos chips, segurança e tipo de coleta de dados. Para ele, é de grande importância entender tais características para alcançar o desempenho esperado aos tipos de

solução RFID. Nesse quesito, o fator determinante do alcance (distância que deve haver entre a antena e a *tag* para leitura das informações armazenadas no chip da *tag*) de uma solução de RFID é a frequência. Esse alcance, conforme Descalzo, Silva e Clemente (2011), pode variar de centímetros até dezenas de metros, dependendo da frequência, potência de saída, sensibilidade direcional da antena.

Ainda conforme Nogueira Filho (2005), a identificação por radiofrequência pode ser dividida em sistemas passivos, dos quais se pode citar sistemas de controle de acesso, que não possuem fonte de energia (a frequência de rádio é captada pela antena da *tag*) e sistemas ativos, que possuem fontes de alimentação interna, utilizadas no rastreamento de cargas e de trabalhadores em minas subterrâneas, por exemplo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

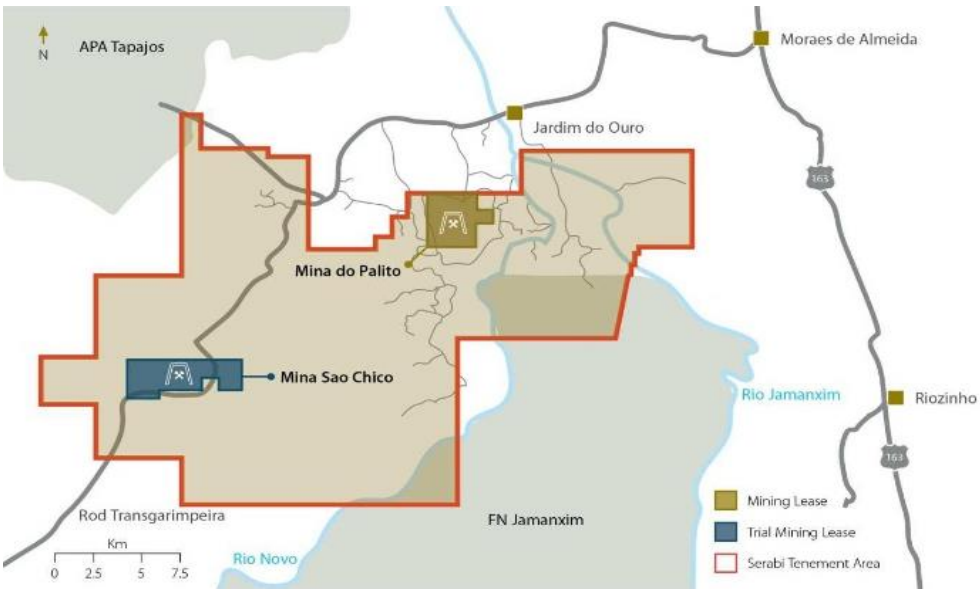
A análise experimental de suporte para a pesquisa é demonstrativa. Para o desenvolvimento do trabalho foi realizado amplo estudo acerca dos tipos de redes de comunicação mais utilizados na indústria mineral, com o propósito de comparar estas às redes sem fio e demonstrar os benefícios da solução RFID nos sistemas de mineração subterrânea.

Foram feitas pesquisas bibliográficas sobre as redes *wireless* e suas aplicações industriais, demonstrando aspectos a serem considerados para planejamento e implantação prática deste tipo de rede visando à localização de pessoas, tais como a geografia, os padrões e as arquiteturas de redes. Foi realizado um Estudo de Caso de aplicação de radiofrequência para controle, automação de processos, segurança e geolocalização de trabalhadores na mina subterrânea Palito, da mineradora multinacional Serabi Gold.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A mina de ouro Palito é uma das duas[8] da empresa Serabi Gold.

Figura 1. Área em que se localizam as minas da Serabi Gold



Fonte: Serabi, 2017

[8] A outra mina da Serabi em Itaituba é a São Chico. A mineradora ainda possui 28 direitos minerários para ouro, cobre e diamantes no Pará, Amazonas e Mato Grosso, de acordo com o DNPM (2016).

A operação é subterrânea e está localizada no município de Itaituba em área de 1.710 hectares que abrange parcialmente a reserva garimpeira do Médio Tapajós. O acesso à mina Palito pode ser feito a partir de Itaituba, por voos fretados ou por via terrestre, a partir da BR-163 (Cuiabá-Santarém) que se interliga com a Rodovia Transgarimpeira e permite o acesso até a comunidade de Jardim do Ouro, ponto mais próximo dos acampamentos, escritórios e instalações da Serabi. O restante do percurso é feito por ramais. Existe também a possibilidade de acesso por via fluvial, a partir dos rios Novo e Jamanxim (SERABI GOLD, 2016).

Um trabalho específico na região de Itaituba, desenvolvido pela Força Aérea Brasileira, mapeou e catalogou 500 pistas de pouso para pequenas aeronaves na região e contabilizou mais de dois mil pontos dentro da floresta onde estavam sendo desenvolvidas atividades de garimpagem de ouro, principalmente ao longo dos principais cursos de água. Há seis décadas, a mineração de ouro teve início na região de Itaituba, município que é considerado “Pepita do Tapajós” por sua fama aurífera e garimpeira (TERRA MEIO AMBIENTE, 2006).

3.1.1 Dados relacionados à mineração em Itaituba

Apesar dos perigos, no mais das vezes porque as normas de segurança em algumas situações não são respeitadas, o mercado de trabalho do setor mineral de Itaituba é o que paga a maior média salarial: R$ 3.999,19 em 2016, de acordo com os dados mais recentes disponibilizados pelo Ministério do Trabalho e Emprego (2017).

Evidenciado em diversos noticiários nacionais, desde que as primeiras pepitas começaram a ser descobertas na década de 1980, Itaituba, o “Lugar dos Pedregulhos”[9], tem uma fila de interessados em ficar rico com seu ouro, inclusive sua extensa área de 62.042,302 km^2 (IBGE, 2015) é uma vez e meia superior à da Suíça[10] e guarda recursos minerais incalculáveis (IBGE, 2015).

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), havia até o dia 8 de dezembro de 2017 um total de 11.272 processos para exploração de minérios em Itaituba. Destes, 10.975 visam a extração de ouro do município — o

[9]O nome Itaituba é de origem do tupi e significa “Ajuntamento de Água da Pedra”, por meio da junção dos termos itá (“pedra”), y (“água”) e tyba (“ajuntamento”). Pode significar, também, “Lugar dos Pedregulhos” ou “Lugar de Muitos Pedras Pequenas” (CAVALCANTE, 2013).

[10] A Suíça possui 41.285 Km^2 de área, sendo, assim, menor que Itaituba; este, por sua vez, é o 5º maior município do Pará em extensão e o 13º maior do Brasil (CAVALCANTE, 2013).

equivalente a 35% dos 31.633 processos ativos de todo o Brasil e 72% dos 15.285 requerimentos protocolados junto ao DNPM no Pará. Por sua extensão, Itaituba é o maior alvo do país de expedições nacionais para propecção de ouro (DNPM, 2017).

No que tange ao processo de operações extrativistas, Itaituba é considerado como o terceiro principal do Brasil, haja vista, tal município movimento a lavra de ouro formal ao longo de 2016 cerca de R$ 1,45 bilhão e R$ 1,02 bilhão em 2017 (de janeiro a novembro), ficando “atrás” somente de municípios de Paracatu e Sabará, ambos no Estado de Minas Gerais, que totalizam R$ 1,33 bilhão e R$ 1,13 bilhão respectivamente em operações extrativas (DNPM, 2017).

3.1.2 Dados sobre acidentes de trabalho na mineração em Itaituba

No Brasil, entre os anos de 2006 e 2015, foram registrados na indústria extrativa mineral 61.922 acidentes de trabalho, levando a óbito 200 trabalhadores (MPS, 2017). O maior desastre da história da mineração brasileira ocorreu recentemente, em 2015, devido ao rompimento da barragem de resíduos de uma mineradora resultando em danos incalculáveis ao ambiente e aos seres humanos. Na ocasião, ocorreram 14 óbitos por acidente de trabalho. No conjunto, é um número bastante elevado, já que, segundo o Ministério do Trabalho e Emprego, o país chegou a 2017 com 193.487 trabalhadores na mineração, sendo que 83.600 deles atuam na extração de ouro e outros metais (MTE, 2017).

No município de Itaituba, foram registrados 194 acidentes de trabalho no setor mineral local em 2014, com duas mortes. Das três mortes na mineração de ouro do Brasil em 2014, duas ocorreram apenas em Itaituba, que é o lugar brasileiro mais letal para essa atividade, segundo os números oficiais mais recentes. É um dado alarmante se considerar o dado que atualmente, há 493 trabalhadores da mineração com carteira assinada, 374 dos quais na extração de ouro, mas no trabalho informal são 5 mil mineiros em Itaituba.

As estatísticas oficiais do Ministério da Previdência Social não consideram acidentes com trabalhadores em situação de informalidade devido a eles não fazerem contribuições para a previdência, o que possibilita supor que o número de mortes provocadas por acidentes de trabalho sejam imensamente maior na extração de ouro. O total de trabalhadores informais estimados supera em 1.150% o volume de mineiros

formais com carteira registrada e cobertos pela previdência oficial (MPS, 2016; MTE, 2016).

3.1.3 Caracterização da Mina Palito

A mina Palito contém 851.193 toneladas de minério de ouro (ou 206.466 onças) na categoria de recursos minerais “medidos e indicados” e 2.087.741 toneladas (392.817 onças) na categoria “inferidos”, com teor médio de 7,54 gramas de ouro para cada tonelada de minério e 0,23% de cobre (SERABI GOLD, 2017). A planta de processamento permanece em ordem e tem capacidade para tratar cerca de 200 mil toneladas ao ano. Esse processo é o maior pilar da produção de ouro paraense, que, em 2015, totalizou 17.132 quilos para comercialização (DNPM, 2016).

Os resultados do ano 2016 encerrado da Serabi Gold mostram que as operações da empresa no Brasil foram de 39 mil onças de ouro em Itaituba (25 mil onças na Mina Palito), que renderam 28,96 milhões de dólares, bastante mais que os 20,06 milhões de dólares registrados no decorrer de 2015.

Sabe-se oficialmente que, como a lavra é subterrânea, praticamente todos os trabalhos extrativos são internos. Dentro da mina, existem ventiladores internos que possibilitam a circulação de ar para os trabalhadores (a vazão de ar é distribuída de acordo com quantidade de pessoas em cada frente de lavra). Existe uma saída de emergência, à qual toda a mina está conectada a ela por meio de escadas.

É importante enfatizar que todas as entradas da mina têm murais de controle, onde é obrigatório constar o crachá de entrada tanto para visitantes como para funcionários. Assim, antes de iniciar os procedimentos de detonação de explosivos, o supervisor responsável sabe se ainda existe alguém dentro da mina.

Apesar dos cuidados básicos, não há providência expressa na literatura ou em informativos quaisquer sobre o que fazer na mina Palito para localizar com eficiência seus mineiros, esta situação reforça a importância deste estudo, na perspectiva de indicar tecnologias que sejam úteis a seus parâmetros operacionais e de segurança, com destaque para a tecnologia RFID, muito eficiente na demonstração de diversos autores e de baixo custo.

3.1.4 A legislação nacional na implantação da estratégia tecnológica

A participação do poder público no sentido de legislar e fiscalizar acerca do cumprimento de normas técnicas de segurança e saúde ocupacional a serem aplicadas na mineração faz-se fundamental para a diminuição do número e gravidades dos acidentes de trabalho.

Na contemporaneidade, as legislações brasileiras de segurança e saúde ocupacional aplicadas ao setor são a Norma Regulamentadora (NR) 22 (Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE); e as Normas Reguladoras da Mineração (NRMs), do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) e à qual cabe a fiscalização quanto ao cumprimento destas normativas. No entanto, apesar do esforço legislativo para o setor, os números de acidentes nas minas continuam elevados, e a indústria extrativa é vista como uma das mais mortais do país.

Para tentar inverter esta tendência, várias tecnologias estão sendo testadas e se despontando com vistas a auxiliar no monitoramento dos trabalhos mineiros e, principalmente, na preservação da integridade e da saúde dos trabalhadores das minas. Sendo a tecnologia RFID uma realidade tecnológica possível, que permite o rastreamento de trabalhadores e equipamentos em ambientes inóspitos, sua prática será experimentada na mina de ouro Palito, a fim de encontrar uma solução tecnológica para o problema que atenda um dos maiores pilares da economia nacional, que é a extração de minérios.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ETIQUETAS

As etiquetas RFID (ou *tags*) são pequenos chips (transponder) que podem ser colocados em embalagens, produtos ou equipamentos e que passaram a ser muito utilizadas na logística, pela possibilidade de controlar o estoque e a entrega dos produtos de maneira otimizada. Existem três tipos de etiquetas RFID: passivas, semipassivas e ativas. As *tags* passivas somente recebem o sinal enviado pela base transmissora e respondem a este sinal. Já as semipassivas e as ativas são dotadas de bateria e são capazes tanto de emitir quanto de receber os sinais (GOMES, 2007).

As etiquetas RFID podem ser mais simples, somente para controle, ou mais complexas, contendo dados e informações situacionais. Todas elas apresentam

vantagens, entre as quais a prevenção de roubos, a localização de pessoas em ambientes perigosos e a detecção de falsificação de mercadorias. Muitas empresas utilizam esta tecnologia para rastreamento de produtos e pessoas. Pelo sinal das etiquetas ativas, é possível identificar em tempo real a localização de um trabalhador, por exemplo.

Outra vantagem destas etiquetas é a possibilidade de leitura delas sem a necessidade da proximidade do leitor ou scanner podendo ser lidas de várias etiquetas simultaneamente. Ao passar pelo scanner, todos os dados armazenados na etiqueta RFID são lidos e o sistema é alimentado automática e instantaneamente.

3.2.1 Tipos de etiquetas

Para a parte experimental desta Dissertação, 14 etiquetas foram testadas, o número de 14 etiquetas foi em virtude de questões financeiras, haja vista, o orçamento previsto em conjunto com as especificações técnicas que eram necessárias, pode-se somente comprar as referidas etiquetas.

Quadro 1 — Etiquetas RFID testadas

ETIQUETAS
AcuTag UHF Square ON Metal
Pulseira de Silicone UHF
AcuTag UHF Steelwave Micro II
AcuTag UHF Ironside Slim
AcuTag UHF ISSO
AcuTag UHF Titan Fastener
Fit 400
Tag UHF Carrier Tough
Acutag UHF Flexible
AcuTag UHF Titan General
Tag UHF Acura T-5C M4e
Tag UHF Carrier Pro
AcuTag UHF ShortDipole
Tag UHF T-7 C M4E

Fonte: Elaboração Própria

Descritivamente, cada etiqueta possui as especificações que se seguem, conforme disponibilizado em manual do fabricante disponível em site[11] específico.

AcuTag UHF Square ON Metal

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPC Class 1 Gen 2 ISO/IEC18000-6C
Frequencia de operação	902-928 MHz
Chip RFID	Alien Higgs 3
Configuração de memória	32 bit TID 96 bit EPC 512 bit Memória de usuário
Distância de leitura*	Até 8 m
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Metálicas
Encapsulamento	PA66 + 30% GF
Peso	26 g
Dimensões	52 x 43 x 10 mm
Temperatura de operação	-40°C a +85°C
Temp. de armazenamento	-40°C a 120°C
Grau de proteção	IP68
Fixação	Adesivo, Mecânica

Pulseira de Silicone UHF

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Pulseira
Protocolo	ISO / IEC 18000-6C / EPCglobal Class 1 Gen 2
Frequencia de operação	860 - 960 MHz
Chip RFID	Alien Higgs 3
Configuração de memória	96 bits EPC 512 bits Memória de Usuário 32 bits TID
Distância de leitura*	Até 1,5 m
Aplicações	Controle de Acesso / Identificação
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Material	Silicone
Peso	33,5 g
Dimensões	195 x 27,7 x 10 mm
Temperatura de operação	-25°C a +85°C
Temp. de armazenamento	-25°C a +120°C
Grau de proteção	IP68

AcuTag UHF Steelwave Micro II

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPCglobal Class 1 Gen 2 / ISO 18000-6C
Frequencia de operação	865 - 928 MHz
Chip RFID	Impinj Monza4 QT
Configuração de memória	96 bit TID 128 bit EPC 512 bit Usuário
Distância de leitura*	Até 5 m em superfícies metálicas Até 1,5 m em superfícies não metálicas
Aplicações	Controle de Ativos
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Superfícies metálicas e não metálicas
Encapsulamento	Plástico e Sintético
Peso	2 g
Dimensões	13 x 38 x 4,5 mm
Temperatura de operação	-20°C a +70°C
Temperatura de ambiente	-20°C a +70°C
Grau de proteção	IP67
Fixação	Adesivo, Pendurado, Abraçadeira

AcuTag UHF Ironside Slim

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPCglobal Class 1 Gen 2/ISO 18000-6C
Frequencia de operação	860 - 960 MHz
Chip RFID	Impinj Monza4QT
Configuração de memória	64 bit TID 128 bit EPC 512 bit Memória de usuário
Distância de leitura*	Até 7m no metal Até 3,5m sem metal
Aplicações	Identificação veicular / Controle de Ativos
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Superfícies metálicas
Encapsulamento	Plástico de alta resistência
Peso	14g
Dimensões	84 x 21 x 10 mm
Temperatura de operação	-35°C a +85°C
Grau de proteção	IP68
Fixação	Adesivo ou mecanicamente

[11] Os manuais estão disponibilizados nos seguintes endereços: AcuTag UHF Square ON Metal <http: //ww w.rfidsystems.com.br/square-metal-tag>; Pulseira de Silicone UHF <http://www.rfidsystems.com.br/pulseir a-uhf>; AcuTag UHF Steelwave Micro II <http://www.rfidsystems.com.br/steelwave-micro-ii>; AcuTag UHF Ironside Slim <http://www.rfidsystems.com.br/ironside-slim>; AcuTag UHF ISO <http://www.acura.com.br/is o-uhf.php>; Fit 400 <https://www.omni-id.com/pdfs/Omni-ID_Fit_400_datasheet.pdf>; AcuTag UHF Titan Fastener <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/500.461_TitanFastener_Folheto_pt.pdf>; Tag UHF Carrier Tough <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/500.607_AcuTag_Carrier_T ough_Folheto_pt.pdf>; Acutag UHF Flexible <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/500.362_Acutag_UHF_Flexible_Folheto_pt.pdf>; AcuTag UHF Titan General <http://www.rfidsystems.com.br/titan-general>; Tag UHF Acura T-5C M4e <http://www.acura. com.br/pdf/500.637_T-5C_Folheto_pt.pdf>; Tag UHF Carrier Pro <http://www.rfidsystems.com.br/carrier-pro>; AcuTag UHF ShortDipole <http://www.rfidsystems.com.br/es/shortdipole.html>; Tag UHF T-7 C M4E http://www.acura.com.br/pdf/1 00.393_Tag%20UHF%20T7%20C%20M4E_pt.pdf.

AcuTag UHF ISO

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPCglobal Class 1 Gen 2/ISO 18000-6C
Frequencia de operação	860 - 960 MHz
Chip RFID	Alien Higgs3
Configuração de memória	64 bit TID 96 bit EPC 512 bit Memória de usuário
Distância de leitura*	até 4 m
Aplicações	Identificação de pessoas Identificação veicular
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Não metálicas
Encapsulamento	PVC branco brilhante
Peso	6 g
Dimensões	86 x 54 x 0,9 mm
Temperatura de operação	-25°C a +65°C
Grau de proteção	IP67
Fixação	Porta Cartão
Acessório	**Suporte para Pára-brisas**
Material	PC e adesivo 3M
Dimensões	90 x 60 x 6 mm

AcuTag UHF Titan Fastener

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPC Class 1 Gen 2; ISO18000-6C
Frequencia de operação	900 - 930 MHz
Chip RFID	Alien Higgs3
Configuração de memória	64 bit TID 96 bit EPC 512 bit Memória de usuário
Distância de leitura*	Até 8 m
Aplicações	Ideal para Ambientes Severos e Exposição a Altas Temperaturas, Impactos e Produtos Químicos.
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Metálicas e não-metálicas
Encapsulamento	PCB
Peso	<1 g
Dimensões	148 x 18,2 x 3,2 mm
Temperatura de operação	-45°C a +85°C
Grau de proteção	IP68
Fixação	Adesivo dupla face já no tag

Fit 400

RF Specifications

Protocol	EPC Class 1 Gen2v2
Frequency Range (MHz)	866-868 (EU) 902-928 (US)
Read Range (Fixed reader)[1]	Up to 4m (13.1ft)
Read Range (Handheld reader)[1]	Up to 2m (6.6ft)
Material Compatibility	Optimized for metal
IC Type (chip)	Alien H3
Memory [2,3]	EPC - 96bits User - 512bits Unique TID - 64bits

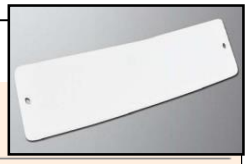
Finish	Painted black
Size (mm) (tolerance)	13.1 x 7.8 x 3.1 with IC bump 13.1 x 7.1 x 3.1 without IC bump +/-0.5
Size (in) (tolerance)	0.52 x 0.31 x 0.12 with IC bump 0.52 x 0.28 x 0.12 without IC bump +/-0.02

Tag UHF Carrier Tough

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPCglobal Class 1 Gen 2/ISO 18000-6C
Frequencia de operação	860 - 960 MHz
Chip RFID	Impinj Monza4QT
Configuração de memória	96 bit TID 128 bit EPC 512 bit Memória de usuário
Distância de leitura*	Até 12,5 m
Aplicações	Itens de Transporte Retornáveis
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Plástico
Encapsulamento	Imprimíveis Branco PET, Plástico de Engenharia resistente a riscos
Peso	0,1 g
Dimensões	120 x 30 x 2 mm
Temperatura de operação	-20°C a +70°C
Temp. de armazenamento	-20°C a +70°C
Grau de proteção	IP68
Fixação	Parafusos; Rebites

Acutag UHF Flexible



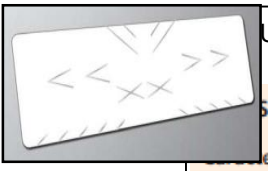
Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPCglobal Class 1 Gen 2/ISO 18000-6C
Frequencia de operação	860 - 960 MHz
Chip RFID	Alien Higgs3
Configuração de memória	64 bit TID 96 bit EPC 512 bit Memória de usuário
Distância de leitura*	até 4 m
Aplicações	Identificação de vestuário
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Superfícies não metálicas (especificamente em tecidos)
Encapsulamento	Silicone
Peso	1,5 g
Dimensões	60 x 12 x 1,6 mm
Temperatura de operação	-25°C a +55°C
Grau de proteção	IP68
Testes de temperatura	
Sobre o tag	85°C por 60 min 120°C por 10 min

AcuTag UHF Titan General

Especificações Técnicas

Características elétricas	
Tecnologia	UHF
Tipo	Passivo
Protocolo RF	EPC Class 1 Gen 2; ISO18000-6C
Frequencia de operação	860 - 960 MHz
Chip RFID	Alien Higgs-3
Configuração de memória	64 bit TID 96 bit EPC 512 bit Memória de usuário
Distância de leitura*	3,5 m no metal 4 m sem metal
Aplicações	Identificação Veicular Controle de ativos e estoque
Tempo de vida**	Ilimitado
Características operacionais	
Superfícies aplicáveis	Superfícies metálicas
Encapsulamento	FR4 prensado PCB
Peso	6 g
Dimensões	75 x 16 x 3,2 mm
Temperatura de operação	-45°C a +85°C
Grau de proteção	IP68
Fixação	Adesivo dupla face já no tag

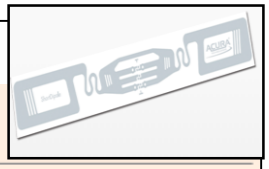


Tag UHF Carrier Pro

Especificações Técnicas

Características elétricas	
Dimensões	92 x 24 x 0,2 mm
Frequência de operação	860 MHz - 960 MHz
Protocolo de comunicação	EPC Class 1 Gen 2; ISO18000-6C
Distância de leitura*	4 a 10 metros
Chip	Impinj Monza4QT Impinj Monza4E
Material	Fita de impressão de resina branca PET
Temperatura de operação	-35°C a 85°C
Temperatura de armaz.	-35°C a 90°C
Classificação	IP68
Fixação	Adesiva
Peso	0,8 g

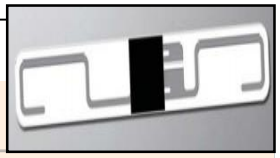
AcuTag UHF ShortDipole



• Especificaciones Técnicas

Características eléctricas	
Tecnología	UHF
Tipo	Pasivo
Protocolo RF	EPCglobal Class 1 Gen 2/ISO 18000-6C
Frecuencia de operación	860 - 960 MHz
Chip RFID	Impinj Monza 4QT
Configuración de memoria	32 bit TID público o 96 bit TID privado Hasta 128 bit EPC 512 bit Memoria de Usuário
Distancia de lectura*	Hasta 8 m
Aplicaciones	Control de activos y stock
Tiempo de vida	Ilimitado
Caracteristicas operacionales	
Superfícies aplicables	Superfícies no metálicas
Encapsulamiento	Inlay
Peso	Menor que 1 g
Dimensiones	97 x 15 mm
Temperatura de operación	-40°C a +85°C
Grado de protección	No aplica
Fijación	Autoadhesivo
Testes de Resistencia	
Diametro de curvatura	Maior que 50 mm
Presión	Hasta 10 MPa

Tag UHF T-7 C M4E



• Especificações Técnicas

Especificações Elétricas	
Tecnologia	Class 1 Generation 2 transponder UHF RFID passivo Compatível com EPC Gen2V2
Protocolo RF	EPCGlobal Class1 Gen2 ISO 18000-6C
Frequência de Operação	Global 860-960 MHz
Chip RFID	Impinj Monza 4E
Configuração de memória	EPC 496 bit; Usuário 128 bit; TID 96 bit
Distância de Leitura	EU: Até 9 m US: Até 10,5 m
Superfícies Aplicáveis	Vidro
Especificações Mecânicas	
Componentes do Tag	- Verso (de frente para o pára-brisa): Alumínio, adesivo acrílico. - Frente (de frente para o motorista): tinta e PET transparente para impressão. Fita de resina recomendada. Pode ser encomendada impressão em cores ou em preto.
Peso	< 1 g
Formato de entrega	1000 etiquetas em uma bobina
Núcleo interno da bobina	76 mm / 3"
Dimensões	93 x 11,5 x 0,2 mm
Resistência Ambiental	
Temperatura de operação	-35°C a +85°C
Temperatura do ambiente	-35°C a +85°C
Condição de armazenamento	1 ano a +20°C / 50% (umidade relativa)
Vida útil estimada	Anos em condições normais de operação

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ANTENAS

Antenas são equipamentos com a finalidade de captar ou emitir ondas eletromagnéticas, operando em suas respectivas bandas. Elas são parte indispensável em qualquer sistema de radiofrequência. No caso das antenas RFID, estas transmitem ondas com características elétricas e magnéticas que são conhecidas como ondas eletromagnéticas (GOMES, 2007).

Existem dois tipos diferentes de antenas RFID: a de Polarização Linear, em que ondas eletromagnéticas se propagam completamente em um só plano (horizontal ou vertical) na direção da propagação do sinal e cuja propagação de sinal é a melhor quando a orientação da *tag* que pretende ser lida é conhecida e permanecerá fixa; a de Polarização Circular, em que as ondas eletromagnéticas se propagam em dois planos, criando efeito circular e fazendo volta completa em um pré-determinado comprimento de onda, a partir do qual qualquer *tag* nesse caminho será lida, desde que a antena continue emitindo campo eletromagnético rotacional (GOMES, 2007). Assim, o tamanho da antena é proporcional ao seu alcance, e quanto maior a antena, maior será a performance de leitura.

3.3.1 Tipos de antenas

Para a parte experimental desta Dissertação, 4 antenas foram testadas, como observa-se no quadro 2, onde 2 delas com resultado contraposto ao dado teórico sugerido pelo fabricante. Ressalta-se que foram usados inicialmente 4 antenas, só que a RF – 300 e AC-01, elas são antenas de mesa, ou seja, elas detectam a etiqueta numa proximidade muito pequena, como no caso de centímetros. Desse modo, essas antenas foram utilizadas apenas para validação da etiqueta, para saber realmente se estavam funcionando ou não, assim, as antenas que realmente foram usadas no teste experimental foram as de 7.5 dBi e 9 dBi.

Quadro 2 – Antenas RFID testadas

Teórico (m)	ANTENAS			
	RF-300 (cm)	AC-01 (cm)	Edge 50 7,5 (m) | 7,5 dBi |	Edge 50 9 (m) | 9 dBi |

Elaboração Própria.

Descritivamente, cada antena possui as especificações que se seguem, conforme disponibilizado em manual do fabricante disponível em site[12] específico.

Antena UHF Mono

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Faixa de frequência	902-928 MHz
Ganho	7,5 dBi
VSWR	1,3:1 (típico), 1,5:1 (máx.)
Abertura do feixe em 3dBm	77° (horizontal), 72° (vertical)
Polarização	RHCP (circular)
Axial Ratio	902-928 MHz @ 3,5 dB (máx.)
F/B Ratio	-14 dB (típico)
Impedância de entrada	50 (Ohm)
Potência de entrada	6 W (máx.)
Proteção	Aterramento DC
Certificações	RoHS, CE 0682
Características operacionais	
Dimensões	190 x 190 x 30 mm
Peso	0,8 kg
Conector	TNC fêmea reverso
Encapsulamento	Plástico (frente) e Alumínio (base)
Temperatura de operação	-40°C a 85°C
Grau de proteção	IP67
Fixação	4 roscas M5

Antena UHF Monoestática 9,0 dBi

• Especificações Técnicas

Características elétricas	
Faixa de frequência	902-928 MHz
Ganho	9 dBi
VSWR	1,3:1 (máx.)
Abertura do feixe em 3dBm	63° (horizontal), 63° (vertical)
Polarização	RHCP (circular)
Axial Ratio	902-928 MHz @ 3,5 dB (máx.)
F/B Ratio	-20 dB (típico), -18 dB (máx.)
Impedância de entrada	50 (Ohm)
Potência de entrada	6 W (máx.)
Proteção	Aterramento DC
Certificações	RoHS, CE 0682
Características operacionais	
Dimensões	305 x 305 x 25 mm
Peso	1,2 kg
Conector	TNC fêmea reverso
Encapsulamento	Plástico (frente) e Alumínio (base)
Temperatura de operação	-55°C a 71°C
Grau de proteção	IP67
Fixação	4 roscas M5 x 18 mm

[12] Os manuais estão disponibilizados nos seguintes endereços: Antena UHF Mono Circular 7,5 dBi <http:// www.rfidsystems.com.br/pdf/100.322_Antena_UHF_MTI_MONO_CIRCULAR_7.5dBI.pdf>; Antena UHF Monoestática 9,0 dBi <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/500.505_Antena_UHF_monoestatica _9dBi_Folheto_pt.pdf>; Leitor UHF USB RF-300 <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/500.391_RF-30 0_Folheto_pt.pdf>; Leitor UHF USB AC-01 <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/100.351_AC-01_Folhe to_pt.pdf>; Leitor UHF EDGE-50 TCP/IP <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/100.255_EDGE-50%2 0TCPIP_Folheto_pt.pdf>.

Leitor UHF USB

• Especificações Técnicas

Características de Performance

Protocolo	EPC Gen2 Class 1, ISO 18000-6 Tipo-B/C
Frequencia	910 MHz a 914 MHz
Comunicação	USB
Indicação do status	LED
Consumo	Menos que 500 mA @ 5 Vcc
Distância de leitura	Até 50 cm

Características Físicas

Dimensões	53 x 85 x 17 mm
Peso	20 g

Indicador

Modulação	ASK-DSB
Codificação	PIE (TX), FMO (RX)
Velocidade dos dados	40 kbps

Leitor UHF USB

• Especificações Técnicas

Alimentação	5VDC (via USB)
Consumo	Em operação: 400mA Stand-by: 98mA
Interfaces de Comunicação	USB 2.0 (requer driver)
Distância de leitura	Modo Single: até 5cm Modo Multi: até 50cm
Frequência de operação	ANATEL (BR) 902 - 907 MHz e 915 - 928 MHz
Protocolos	EPC Gen2 (ISO 18000-6C) ACURA AutoID SECURE
Transponder	Leitura de tags UHF
Dimensões	88 x 56 x 18 mm
Peso	90 g
Temperatura de operação	-20°C a 70°C
Umidade relativa do ar	0% a 90% sem condensação
Grau de proteção	Não se aplica

Amplificador UHF EDGE-50

LEITOR EDGE-50 TCP/IP	
Protocolos de Transponder	
Protocolos	ARTEFATO PA SJ5511 v.1.0[1] SINIAV G0 v.1.0.0[1] BRASIL-ID P63[1] EPC Gen2 (ISO 18000-6C) ISO 18000-6B
Comunicação de Dados	**Serial USB:** Tipo 2.0 Velocidade de até 12 Mbps Driver para Windows, Linux não necessita de driver **Ethernet:** Velocidade de comunicação 10/100Mbps Isolação galvânica de 1,5KVCA Padrão IEEE 802.3
Programação	API SDK (Software Development Kit) sem custo nas seguintes linguagens: C#/.Net, Java, C (Códigos fonte de exemplo e Software demo fornecido)
Energia	
Alimentação (Corrente Contínua)	Tensão de entrada: 24VCC ± 10% Máximo Ripple da fonte: 200mVpp
Consumo (Corrente Contínua)	Máximo 15W Com potência máxima de 30dBm e duty cycle elevado
Características Físicas	
Grau de proteção	IP40 (para uso interno apenas)
Dimensões	125 x 125 x 52 mm [L x A x P]
Peso	450g ±10g
Temperatura de operação	-10°C a + 65°C
Temperatura de armazenagem	-10°C a + 70°C
Umidade relativa do ar	95%
Fixação	Através de quatro furos de 4,5mm nas abas laterais

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA *BLUETOOTH*

O sistema Bluetooth utilizado nesta pesquisa é composto de uma placa Edison com bateria e *beacon* com acelerômetro. Foi também utilizado um *notebook* com *Python* (linguagem de programação de alto nível – *script*) para realizar o registro (log) do beacon no alcance.

3.4.1 Placa Intel Edison

A Figura 2 apresenta a placa Intel Edison escolhida para os testes com Wi-Fi e *Bluetooth*. A placa apresenta dimensões de 6 cm x 3 cm e usa sistema operacional padrão Linux, chamado Yocto. A placa é de fácil manuseio e apresenta consumo de energia mais baixo em comparação a outras placas avaliadas. Também foram avaliadas as placas Raspberry PI e Arduino Yun. Em comparação ao Arduino Yun, a placa da Intel apresenta características mais adequadas ao projeto, por ter abordagem minimalista. Além disso, o Raspberry PI apresenta consumo de energia superior.

Vale ressaltar que os códigos desenvolvidos e utilizados na placa da Intel também podem ser compilados e executados nas outras placas, visto que as três placas têm sistemas padrão Linux.

Figura 2. Placa Intel Edison utilizada nos testes com Wi-Fi e *Bluetooth*

Fonte: Duarte (2015)

3.4.2 *Beacon* com acelerômetro

O *Beacon*[13] é um dispositivo do tipo BLE 4.1 com sensor de aceleração e faz parte da família de *Beacons* compactos, dotados de bateria do tipo moeda.

Beacon com Acelerômetro

Especificações Técnicas

Alimentação	Bateria de Célula
Consumo	275 µA ~ 350 µA
Distância de Leitura*	Modo Sensor: 60m Modo Movimento: 30m Modo Queda: 120m
Acessórios	Wall-mount - Key-fob - Wrist-band
Dimensões	30 x 10 mm
Peso	7 g
Temperatura de operação	-20°C a 60°C
Grau de proteção	IP-64
Instalação	Superfícies externas ou embutido em equipamentos
Modo de ID Selecionável	UUID, ID Principal e ID Menor
Identificação Única	ID único primário e secundário (serializados) Número de Série Único Número de Série, ID primário e secundário impressos em um QR Code

Fonte: Manual beacon (2017)

[13] Manual em <http://www.rfidsystems.com.br/pdf/500.959_beacon_com_acelerometro.pdf>.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados testes práticos, simulando a potência da radiofrequência em 14 etiquetas, considerando-se as 4 antenas disponíveis. No quadro a seguir, são expostas as análises realizadas, que levam em consideração critérios de distância, a saber: valor teórico (seria o ideal de distância sugerido pelo fabricante) e valor experimental com captura em centímetros (para antenas de mesa RF 300 e AC 01) e com captura em metros (para antenas Edge 50 de 7,5 m e Edge 50 de 9 m). Além disso, foi realizado teste com uma placa Intel Edison, o qual foi utilizado como *Beacon bluetooth*.

Quadro 3 — Apresentação geral das medições para sinal entre etiquetas e antenas

ETIQUETAS	Teórico (m)	ANTENAS			
		RF300 (cm)	AC01 (cm)	Edge 50 7,5 (m)	Edge 50 9 (m)
AcuTag UHF Square ON Metal	8,0	15	3	**2**	**2**
Pulseira de Silicone UHF	1,5	20	3	**1**	**1**
AcuTag UHF Steelwave Micro II	1,5	4	0	**0,5**	**0,5**
AcuTag UHF Ironside Slim	3,5	40	3	**3,5**	**3,5**
AcuTag UHF ISO	4,0	15	1	**4**	**4**
AcuTag UHF Titan Fastener	8,0	30	15	**5**	**5**
Fit 400	4,0	3	0	**0,5**	**0,5**
Tag UHF Carrier Tough	12,5	50	30	**10**	**10**
Acutag UHF Flexible	4,0	50	15	**4**	**4**
AcuTag UHF Titan General	4,0	60	5	**4**	**4**
Tag UHF Acura T-5C M4e	8,0	80	25	**6**	**6**
Tag UHF Carrier Pro	10,0	40	25	**10**	**10**
AcuTag UHF ShortDipole	8,0	40	20	**8**	**8**
Tag UHF T-7 C M4E	9,0	80	25	**5**	**5**

Trabalho de campo. Elaboração Própria.

Para melhor refinamento dos resultados, das 14 *tags*, foram selecionadas as 7 que apresentaram resultados mais significativos para o corpo desta pesquisa, particularmente no tocante à distância geral em que podem ser localizadas e, especificamente, na parte do corpo do trabalhador em que pode ser afixada para melhor recepção de sinal. No quadro a seguir, são destacadas as *tags* selecionadas.

Quadro 4 — Etiquetas com resultados mais significativos para o trabalho

***TAGS* SELECIONADAS**
Acutag UHF Flexible
Tag UHF Acura T-5C M4e
Tag UHF T-7 C M4E
AcuTag UHF ShortDipole
AcuTag UHF Titan Fastener
Tag UHF Carrier Tough
Tag UHF Carrier Pro

Trabalho de campo. Elaboração Própria.

4.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA RFID SIMULANDO AMBIENTE *INDOOR*

Os testes das antenas e das *tags* foram realizados no dia 25 a 30 de maio na garagem do Instituto Tecnológico Vale (ITV), simulando um ambiente de mina subterrânea e utilizando-se do devido aparato anteriormente descrito para a verificação da viabilidade tecnológica para a localização em ambiente mineiro.

Figura 3 - Cenário de teste da funcionalidade das tags na garagem do ITV

Fonte: Dados do Autor (2017).

Os resultados apontam, no tocante às duas principais antenas testadas (Edge 50 de 7,5 m e Edge 50 de 9 m), que das 14 *tags* inicialmente analisadas 7 conseguiram receber sinal a, pelo menos, quatro metros de distância das antenas, sendo que uma dessas *tags* (Acutag UHF Flexible, tecnicamente empatadas com outras duas de alcance similar, AcuTag UHF ISO e AcuTag UHF Titan General) supera as rivais diretas por centímetros de alcance, daí sua escolha em detrimento das outras, como se verifica a seguir.

Quadro 5 — *Tags* selecionadas por resultados mais expressivos em 7,5 m e 9 m

ETIQUETAS	Teórico (m)	ANTENAS			
		RF300 (cm)	AC01 (cm)	Edge 50 7,5 (m)	Edge 50 9 (m)
AcuTag UHF Square ON Metal	8,0	15	3	2	2
Pulseira de Silicone UHF	1,5	20	3	1	1
AcuTag UHF Steelwave Micro II	1,5	4	0	0,5	0,5
AcuTag UHF Ironside Slim	3,5	40	3	3,5	3,5
AcuTag UHF ISSO	4,0	15	1	4	4
AcuTag UHF Titan Fastener	**8,0**	**30**	**15**	**5**	**5**
Fit 400	4,0	3	0	0,5	0,5
Tag UHF Carrier Tough	**12,5**	**50**	**30**	**10**	**10**
Acutag UHF Flexible	**4,0**	**50**	**15**	**4**	**4**
AcuTag UHF Titan General	4,0	60	5	4	4
Tag UHF Acura T-5C M4e	**8,0**	**80**	**25**	**6**	**6**
Tag UHF Carrier Pro	**10,0**	**40**	**25**	**10**	**10**
AcuTag UHF ShortDipole	**8,0**	**40**	**20**	**8**	**8**
Tag UHF T-7 C M4E	**9,0**	**80**	**25**	**5**	**5**

Trabalho de campo. Elaboração Própria.

Pelo quadro acima, é possível verificar que, no grupo das 7 *tags* selecionadas, duas (Tag UHF Carrier Tough e Tag UHF Carrier Pro) atingiram um grau de localização de até 10 metros distante da antena e, em contraponto, com a indicação teórica sugerida pelo fabricante, a Tag UHF Carrier Pro correspondeu fielmente à expectativa de 10 metros, embora a Tag UHF Carrier Tough tenha ficado 2,5 metros abaixo dos 12 metros que se supunha.

A Tag UHF Carrier Pro apresentou a mesma precisão que as etiquetas Acutag UHF Flexible, alcançando os 4 metros de frequência tal como o indicado pelo fabricante, e AcuTag UHF ShortDipole, que atingiu os 8 metros no teste prático em conformidade com o sugerido. As etiquetas AcuTag UHF Titan Fastener (5 metros de

alcance para 8 teóricos) e Tag UHF T-7 C M4E (5 metros de alcance para 9 teóricos) apresentaram desempenho inferior à média das 7 *tags* selecionadas.

Além desse teste de localização a distância, foi feita outra simulação, desta feita considerando-se o dispositivo em diferentes partes da vestimenta do trabalhador, a distâncias de 3 e ou 6 metros, em percurso de ida e volta, com duas formas de disposição da *tag* (aparente e oclusa na indumentária), testando a sua mais precisa localização no ambiente da mina.

Quadro 6 — Potencial de localização considerando-se a disposição das etiquetas na indumentária e no braço do trabalhador

ETIQUETA	***TAG* NA INDUMENTÁRIA**						***TAG* NO BRAÇO**			
	Capacete		**Sapato**		**Colete**		**3m**		**6 m**	
	3 m	6m	3 m	6 m	3 m	6 m	Ida (Visível)	Volta (Oclusa)	Ida (Visível)	Volta (Oclusa)
Acutag UHF Flexible	10%	0%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Tag UHF Acura T-5C M4e	100%	40%	100%	20%	0%	0%	100%	0%	0%	0%
Tag UHF T-7 C M4E	60%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	40%	0%
AcuTag UHF ShortDipole	**100%**	**100%**	**100%**	**0%**	**0%**	**0%**	**0%**	**0%**	**0%**	**0%**
AcuTag UHF Titan Fastener	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
Tag UHF Carrier Tough	0%	0%	80%	80%	0%	0%	20%	0%	0%	0%
Tag UHF Carrier Pro	100%	100%	60%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	0%

Fonte: Trabalho de campo. Elaboração Própria, negritado pelo autor.

Tag no capacete

Os melhores resultados, para a tag no capacete a distância de 3 e 6 metros da antena, foram apresentados pelas etiquetas AcuTag UHF ShortDipole, AcuTag UHF Titan Fastener e Tag UHF Carrier Pro, alcançadas com 100% de excelência para as duas distâncias simuladas. Foi expressivo, também, o alcance da etiqueta Tag UHF Acura T-5C M4e para a distância de 3 metros, mas insatisfatório para o alcance de 6 metros. As demais etiquetas apresentaram desempenho inexpressivo.

Cabe destacar que, de acordo com Gomes (2007), o capacete é o lugar preferido da indumentária onde se possa fixar uma etiqueta, haja vista a mobilidade de lidar com este, que também é componente indispensável do conjunto de equipamentos de proteção individual.

Tag no sapato

Os melhores resultados, para a tag no sapato a distância de 3 e 6 metros da antena, foram apresentados pela etiqueta AcuTag UHF Titan Fastener, alcançada em 100% das situações métricas propostas. As etiquetas AcuTag UHF ShortDipole e Tag UHF Acura T-5C M4e foram alcançadas com 100% de sucesso à distância de 3 metros, mas não atingiram o mesmo percentual considerada a distância de 6 metros. As demais etiquetas apresentaram desempenho inexpressivo.

Tag no colete

Os melhores resultados, para a tag no colete a distância de 3 e 6 metros da antena, foram apresentados pela etiqueta AcuTag UHF Titan Fastener, alcançada em 100% das situações métricas propostas. Neste quesito, todas as demais apresentaram 0% de alcance, para cujo resultado não há explicação plausível, já que sua forma de disposição (etiqueta fica visível) é tecnicamente similar à do colete e do capacete.

Tag no braço

Com a etiqueta no braço, considerando-se o percurso de ida e volta no espaço de 3 metros, o melhor desempenho foi, mais uma vez, da AcuTag UHF Titan Fastener, alcançada em 100% da situação métrica proposta. Também marcaram 100% de alcance Tag UHF Acura T-5C M4e e Tag UHF T-7 C M4E, mas apenas para o percurso de ida, sendo que na volta nenhuma das *tags (à exceção da* AcuTag UHF Titan Fastener, como já mencionado) apresentou resultado significativo.

Considerando-se o percurso de ida e volta num espaço maior, de 6 metros, o melhor desempenho foi, também, da AcuTag UHF Titan Fastener, alcançada em 100% da situação métrica proposta. Fora essa tag, nenhum das outras apresentou percentual no espaço proposto, nem na ida tampouco na volta, nas simulações com a etiqueta no braço do trabalhador

Análise geral para o conjunto de *tags*

As etiquetas AcuTag UHF Titan Fastener e AcuTag UHF ShortDipole foram as mais bem avaliadas para o conjunto de simulações realizadas. A Titan Fastener alcançou excelência em absolutamente todas as simulações, desde a *tag* no capacete até colada ao braço. Esse resultado é importante porque denota a segurança

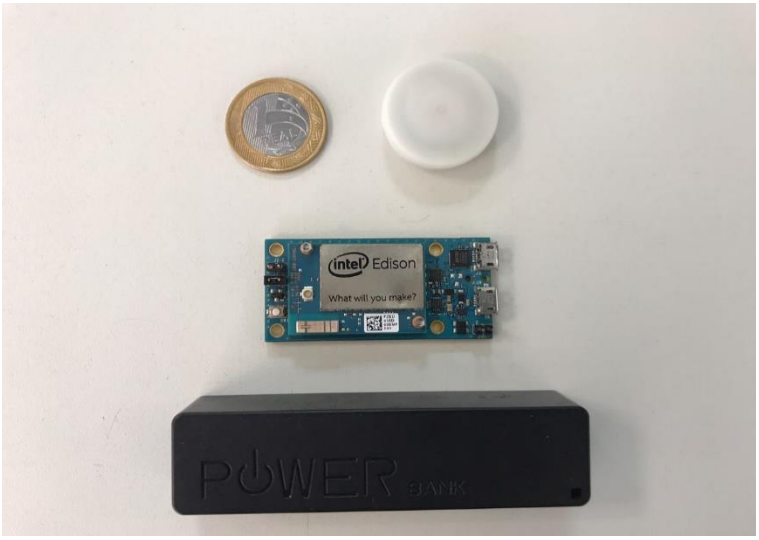
conferida pelo referido aparato tecnológico, uma vez que, pela simulação em ambiente *indoor*, é perfeitamente possível aplicar tal método em ambiente similar, tal como uma mina subterrânea, conseguindo atingir resultados de 100% de eficiência no que diz respeito à localização RFID do trabalhador num ambiente de risco.

Já a *tag* ShortDipole se destacou por seu desempenho nas simulações com capacete e no sapato (para distância de 3 metros), locais preferencialmente escolhidos para fixação de etiquetas, já que capacete e sapato são itens obrigatórios para a segurança mínima e proteção individual do trabalhador, particularmente em ambientes inóspitos e de alto risco, como as minas subterrâneas.

4.2 AVALIAÇÃO DO SISTEMA *BLUETOOTH* SIMULANDO AMBIENTE *INDOOR*

O teste com a placa Edison foi realizado no dia 16 de agosto na garagem do Instituto Tecnológico Vale (ITV), simulando um ambiente de mina subterrânea e utilizando-se conjuntamente um *notebook* com *Python* (linguagem de programação de alto nível – script) para realizar o log do *Beacon* no alcance, conforme a figura mostrada acima.

Figura 4 - Cenário de teste da funcionalidade no laboratório do ITV



Fonte: Dados do Autor (2017).

Como a especificação do fabricante são de sessenta (60) metros de alcance para o modo sensor (emite sinal a cada segundo), dessa forma, não houve

necessidade de testes de aproximação. Os resultados apontam, rendimento de 100% em todas as variedades de testes, sempre com sinal estável.

Quadro 7 — Potencial de localização considerando-se a disposição do *Beacon* na indumentária e no braço do trabalhador

Beacon	***Beacon* NA INDUMENTÁRIA**						***Beacon* NO BRAÇO**			
	Capacete		**Sapato**		**Colete**		**3m**		**6 m**	
	3 m	6m	3 m	6 m	3 m	6 m	Ida (Visível)	Volta (Oclusa)	Ida (Visível)	Volta (Oclusa)
Beacon com Acelerômetro BLE 4.1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

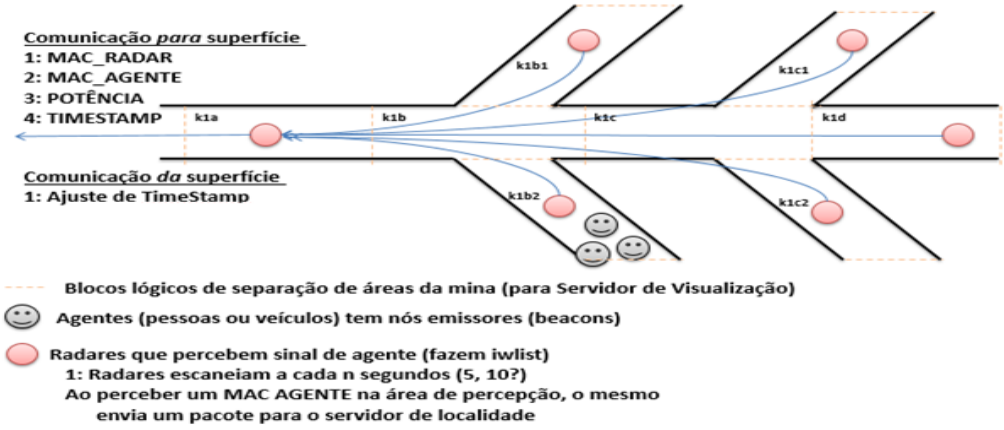
Fonte: Trabalho de campo. Elaboração Própria.

4.3 AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DOS SISTEMAS WI-FI E *BLUETOOTH*

Em se tratando de particularidades arquitetônicas para arranjo das redes, duas abordagens podem ser elaboradas para a localização por radiofrequência em uma mina subterrânea, considerando-se as tecnologias Wi-Fi e *Bluetooth* como alternativas à tecnologia RFID: (1) a localização por bloco e (2) a localização métrica.

Tecnicamente, de acordo com Ferreira et al. (2016), a localização por bloco é mais barata por permitir um sistema funcional com número reduzido de dispositivos. Já a vantagem da localização métrica é a maior precisão, embora necessite de superposição de sinais de rádio, o que aumenta o custo financeiro do projeto. Também, para o funcionamento adequado, é ideal que os agentes (pessoas, máquinas e veículos) tenham um dispositivo emissor de sinal, como se vê na figura 5. Um dispositivo emissor, em geral, requer fonte de energia (bateria), o que faz o sistema precisar de protocolo de gerenciamento das cargas.

Figura 5 - Esquema da mina com localização por bloco



Fonte: Ferreira et al. (2016)

A figura anterior apresenta esquema do sistema — considerando a mina com sensores por bloco — com agentes (representados por pessoas). Em cada bloco específico, um sensor (chamado de radar) é posicionado. Para a localização por bloco, apenas um sensor pode ser considerado na localização. Havendo estimativa de erro métrico, deve ser viabilizada a superposição de sinais com maiores proximidades entre os sensores radares.

No esquema da mina com sensores por bloco, conforme proposto na imagem anterior, os radares fazem a varredura contínua de sinais de radiofrequência de itens presentes nos agentes e comunicam à central (servidor de localidade) que contém o núcleo responsável por realizar a estimativa de localização (cérebro do programa).

Dois servidores — um de horário e outro de localização — são necessários. O servidor de horário é responsável por sincronizar itens do sistema, o que é fundamental para a correta interpretação das informações obtidas pelos radares. Já o servidor de localização apresenta os dados aos usuários do sistema, principalmente aos engenheiros de segurança, conforme demonstrado no quadro abaixo.

Quadro 8 — Sistema de localização por bloco: exemplo da mina Taquari-Vassouras

ITEM	Servidor de Horário	Servidor de Visualização	Servidor de Localidade	Radares	Agentes
FUNÇÃO	Sincronismo e correto funcionamento do núcleo de inteligência	Apresentação (visualização) da posição dos agentes no sistema	Núcleo de inteligência do sistema	Itens presentes no ambiente que fazem a varredura dos sinais de RF	Pessoas, máquinas e veículos
OPERAÇÃO	Na inicialização, cada roteador ajusta seu relógio com o servidor de horário.	Le continuamente tabela ‘current_status_loc’	1. Recebe mensagens dos roteadores. 2. Gerencia tabelas ‘trace’ com conteúdo dos scans atuais e ‘trace_back_log’ com histórico de scans. 3. Gerencia tabelas ‘current_status_loc’ e ‘history_status_loc’. 4. Tabela ‘current_status_loc’ possui um registro por agente. 5. Regras de localização (cérebro embarcado ou não)	Inicialização: Ajusta relógio com servidor de horário. Running: A cada n segundos, faz scan. Ao perceber nodo, envia mensagem para servidor de localização. [MAC_ ROTEADOR; MAC_AGENTE; POTÊNCIA; TIMESTAMP;]	Portado por pessoas ou veículos. Tecnologias: Wi-Fi, BT, RFID

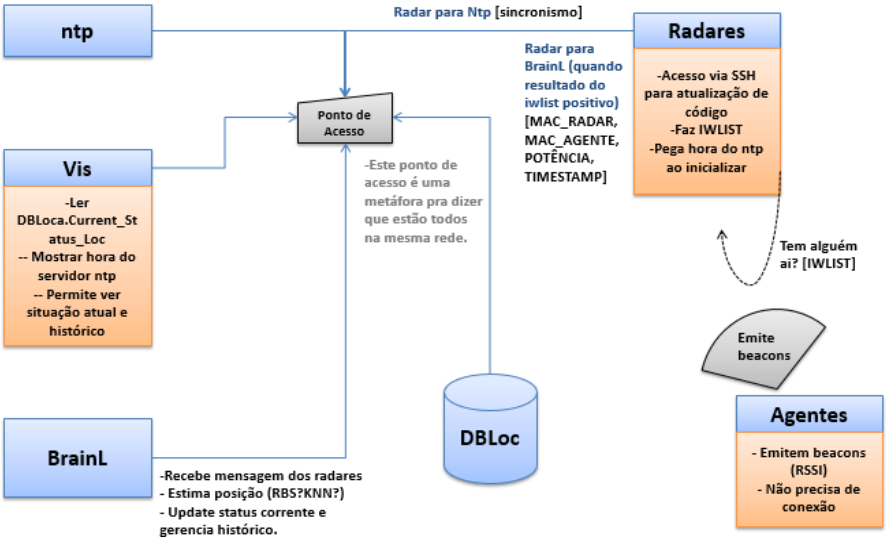
Fonte: Ferreira et al., 2016 (Com adaptações próprias)

No quadro anterior, são apresentados atores e serviços para o sistema de lc sentados

considerando-se a localização por bloco devido a esta ser a opção definida pelos engenheiros de segurança na mina de Taquari-Vassouras. Essa escolha se deu devido aos critérios de custo, manutenção e nível adequado de informação de localização.

Já a figura a seguir apresenta atores e serviços para o sistema de localização, com seus relacionamentos diretos. Por meio desta análise, os agentes (dispositivos) fixados nos veículos, máquinas e pessoas não necessitam estar em rede. Os dispositivos emissores de sinais de notificação (*Beacons*) considerados são Wi-Fi ou *Bluetooth,* ou responsivos como a RFID. Os radares fazem a varredura dos sinais e os enviam a um banco de dados utilizado pelo servidor de visualização e pelo núcleo dos algoritmos de estimativa de localização (cérebro). Os itens radares, núcleo de visualização, cérebro de localização, banco de dados e servidor de sincronismo de relógio devem estar na mesma rede.

Figura 6. Arquitetura de atores e serviços com suas conexões



Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Ferreira et al. (2016)

4.4 AVALIAÇÃO DO SISTEMA RFID NA MINA PALITO

Dadas as considerações a partir das quais foi possível testar, em ambiente *indoor*, a captura de sinais de etiquetas, simulando ambiente de mina subterrânea, e diante da complexidade de implementar outras tecnologias disponíveis para o mesmo fim, correndo-se os riscos de não obter o mesmo sucesso. Dessa forma, são listados na tabela a seguir os pontos relevantes para uma decisão qualitativa, referente à análise da implantação de um sistema RFID para controle e localização de trabalhadores no cenário subterrâneo da Mina Palito.

Tabela 1 — Pontos relevantes para decisão qualitativa sobre a implantação do sistema RFID, com base nas simulações feitas em ambiente indoor.

Pontos favoráveis	• Facilidade de leitura de sinais das *tags* a distância, mesmo com trabalhadores em movimento • Rapidez de localização • Maior gerenciamento e controle dos processos operacionais • Resistência das etiquetas ao ambiente inóspito • Melhor aplicabilidade ante as tecnologias Wi-Fi e *Bluetooth* • Redução de homem-hora para apontamentos durante as movimentações • Melhoria de comunicação empresa-empregado • Melhoria considerável do nível de segurança do trabalho • Potencial de gerenciamento de riscos visando à minimização de acidentes no trabalho
Pontos desfavoráveis	• Possíveis (e não previstos) defeitos das etiquetas • Desempenho insatisfatório de determinadas etiquetas em alguns aparatos dos equipamentos de proteção individual do trabalhador • Poucas *tags* com acurácia das leituras • Inexistência de padrão de identificação • Dificuldade para prevenção e planejamento de contingências para cobertura de eventuais falhas do sistema

Fonte: Elaboração Própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi referido, a Mina do Palito é uma operação subterrânea de lavra de ouro com grande importância para a Economia do município de Itaituba. A criação de emprego e a melhoria das condições de trabalho é um dos grandes fatores positivos da mineração para a Sociedade. A pesquisa realizada tem o potencial de melhorar as condições de segurança, contribuindo para o entendimento do uso de identificadores por radiofrequência na localização das pessoas envolvidas nessa operação.

Em meio aos pontos favoráveis e desfavoráveis da implantação desta tecnologia, a presente Dissertação levanta como principais possibilidades da RFID a melhoria de localização e gerenciamento de trabalhadores, em tempo real, as melhores etiquetas e a melhor localização delas, na indumentária do trabalhador, para demonstrar a eficiência e a confiabilidade das informações.

Algumas questões não foram investigadas, como a eficiência das leituras e a falta de padrões de protocolo e identificação, tendo em vista que este não era o cerne do trabalho, e sim demonstrar, de maneira técnica e clara a viabilidade da tecnologia. Outrossim, o estudo realizado indica os seguintes aspectos relacionados à tecnologia RFID:

- Falta de consolidação da tecnologia para aplicação na mineração, cuja implantação deve ser amadurecida por meio de utilização em *tags*-pilotos nas minas.
- Tendência crescente de que os sistemas RFID sejam utilizados no controle e rastreabilidade de processos operacionais e na gestão de riscos, em benefício da segurança do trabalhador, especialmente em ambientes subterrâneos.
- Aumento de participação colaborativa dos interessados no compartilhamento das informações a fim de garantir a padronização da tecnologia e economia de escala para a empresa.
- Auxílio na tomada de decisão, dadas as informações em tempo real.

Ademais, o estudo permite reflexões sobre utilização da tecnologia em novas aplicações de gestão de pessoas e pode tornar-se, desde que bem controlado, excelente aliado a serviço da prevenção de acidentes e da minimização de riscos laborais aos mineiros.

Como trabalho futuro, indicam-se simulações multicritérios (durabilidade das antenas e das *tags*, testagem em espaçamento maior ao aqui realizado), bem como o contínuo aperfeiçoamento do referencial teórico para este que, pelo que se tem na literatura nacional disponível, é o trabalho pioneiro em sua proposta.

REFERÊNCIAS

AHSON, S.; ILYAS, M. **RFID Handbook**: Applications, Technology, Security and Privacy. Boca Raton, USA: CRC Press, 2008. 712 p.

ALERIGI JUNIOR, Alberto. **Votorantim vai parar produção de níquel para exportação em MG.** 2013. Disponível em: <https://br.reuters.com/article/businessNews/idBRSPE98P03O20130926>. Acesso em: 30 out. 2017.

AMORIM, C. **Identificação, mensuração e análise dos acidentes, doenças e mortes no setor mineral**: construção de modelo de monitoramento das condições de trabalho e saúde dos trabalhadores. Rio de Janeiro: Fundacentro, 2015.

CARVALHO, E. C. **Investigação em arquiteturas de redes sem fio para localização em ambientes internos usando aprendizado de máquina**. 2016. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

CALVANCATI, Damião. **Curiosidades:** você sabe qual é o significado do nome de Itaituba?. Disponível em: <http://blogdodamiaocavalcante.blogspot.com.br/2013/11/curiosidades-voce-sabe-qual-e-o.html>. Acesso em: 10 set. 2017.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Banco de Teses e Dissertações**. Plataforma online. Brasília, 2017. Disponível em: <http://bancodeteses.capes.gov.br/banco-teses/#!/>. Acesso em: 8 dez. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário Mineral Brasileiro**: principais substâncias metálicas – Ano Base 2015. Brasília: DNPM, 2016.

_____. **Maiores Arrecadadores de Cfem – 2017**. Brasília: DNPM, 2017. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/cfem/maiores_arrecadadores.aspx>. Acesso em: 8 dez. 2017.

_____. **Processos Minerais – Módulo Administrativo**. Brasília: DNPM, 2017. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/site/admin/pesquisarProcessos.aspx>. Acesso em: 8 dez. 2017.

DESCALZO, D.; SILVA, F. A.; CLEMENTE, G. C. **RFID**: Análise da viabilidade, vantagens e desvantagens da tecnologia e desenvolvimento de um sistema para demonstração e testes. 2011. 92 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Eletrônica – Comunicações e Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

DUARTE, Antônio. **Projeto Stratus**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/projeto-stratus/>. Acesso em: 10 nov. 2017.

FERREIRA, B. et al. **Lock &Track**: sistema de localização para segurança de colaboradores em ambientes inóspitos. Belém: Senai-Sesi, 2016.

GOMES, H. M. C. **Construção de um sistema de RFID com fins de localização especiais**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações). Universidade de Aveiro, Aveiro, 2007.

GUASTI, R. M. **Solução wireless para redes de automação industrial**. 2012. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Área Territorial Brasileira**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/ geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em: 8 dez. 2017.

INTERMEC TECHNOLOGIES CORPORATION. **Fundamentos da RFID**: entendendo e usando a identificação por radiofrequência. EUA: [s.n.], 2007.

_____. **Usos práticos da tecnologia RFID em aplicações de produção e distribuição**. EUA: [s.n.], 2014.

JEKABSONS, G.; KAIRISH, V.; ZURAVLYOV, V. An analysis of wi-fi based indoor positioning accuracy. Scientific Journal of Riga Technical University. **Computer Sciences**, v. 44, n. 1, p. 131–137, 2011.

MAFRA JUNIOR, A.; MADEIRA, M. S. **A segurança do trabalho em minas de carvão agindo na prevenção da pneumoconiose – Região Carbonífera de Santa Catarina**. 2005. 74 f. Monografia (Especialização em Segurança do Trabalho). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2005.

LAMARCA, A. et al. Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE COMPUTING, 3., 2005, Munich. **Proceedings…** Munich, Germany: [s.n.], 2005.

MATA, R. S. Automação Industrial Wireless – Parte 2. **Revista Mecatrônica Atual,** v. 4, n. 28, jun./jul. 2006.

MENEGOTTO, J. L. Sensoriamento da Edificação: um sistema de localização baseado em beacons BLE. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO - TIC, 7., 2015, Recife. **Anais...** Recife (PE), 2015.

MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL (MPS). **Anuário Estatístico dos Acidentes de Trabalho**. Brasília: MPS, 2016. Disponível em: Acesso em: 15 abr. 2017.

_____. **Base de Dados Histórica de Acidentes de Trabalho – Ano-Base 2015**. Brasília: MPS, 2017. Disponível em: <http://www3.dataprev.gov.br/scripts10/dardoweb.cgi>. Acesso em: 8 dez. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Brasil exportou US$ 36,6 bilhões em bens minerais em 2016**. Publicação *online*. Brasília: MME, 2017. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2017/01/brasil-exportou-US-36-bilhoes-em-bens-minerais-em-2016>. Acesso em: 8 dez. 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged)**. Brasília: MTE, 2017. Disponível em: Acesso em: 8 dez. 2017.

_____. **Perfil do Município**: Trabalho (jan. a nov. 2017). Brasília: MTE, 2017. Disponível em: <http://bi.mte.gov.br/bgcaged/ caged_perfil_municipio/index.php>. Acesso em: 8 dez. 2017.

_____. **Relação Anual de Informações Sociais (Rais)**. Brasília: MTE, 2016. Disponível em: Acesso em: <http://bi.mte.gov.br/ bgcaged/caged_isper/index.php>. Acesso em: 8 dez. 2017.

NOGUEIRA FILHO, C. C. C. **Tecnologia RFID Aplicada à Logística**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PERIN, Edson. **Vale estuda ampliar projeto com RFID**: interesse nasceu da experiência bem sucedida na gerência de Manutenção de Equipamentos de Terraplanagem, da mina de Conceição, em Itabira (MG). 2014. Disponível em: <http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision?11586>. Acesso em: 15 nov. 2017.

PROGRAMA INTEGRADO EM SAÚDE AMBIENTAL E DO TRABALHADOR (PISAT). Boletim Epidemiológico: Morbimortalidade por Acidentes de Trabalho entre Trabalhadores da Mineração — Brasil (2007-2015). Salvador: ISV, **Boletim Epidemiológico,** maio 2017, ed. 11, ano 7.

RAMAZZINI, B. **As doenças dos trabalhadores**. 3. ed. São Paulo: Fundacentro, 2000. 325 p.

RODRIGUES, M. L. **Localização em Ambientes Internos Utilizando Múltiplas Tecnologias Sem Fio**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ROSA, L. A. **Aplicação do RFID na Cadeia Logística**. 2006. 63 f. Monografia (MBA Tecnologia da Informação). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SANTOS, Y. C. S. **Segurança e Saúde Ocupacional na Indústria da Mineração**: Aspectos Técnicos das Legislações e Estatísticas de Acidentes. 2012. 71 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade Federal do Espirito Santo, Vitória, 2012.

SERABI MINERAÇÃO. **Perfil da Empresa.** Online. Londres, 2016. Disponível em: <http://www.serabigold.com/pt-br/empresa/perfil-da-empresa/>. Acesso em: 8 dez. 2017.

SERABI MINERAÇÃO. **Serabi Gold plc Annual Report 2016**. Londres, 2017. Disponível em: <http://www.serabigold.com/wp-content/uploads/2017/03/2016-Financial-Statements-FINAL.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2017.

SEUFITELLI, C. B. et al. Tecnologia RFID e Seus Benefícios. **Vértices**, Campos dos Goytacazes (RJ), v. 11, n. 1/3, p. 19-26, jan./dez. 2009.

SIQUEIRA, Thiago Senador de. **Bluetooth:** Características, protocolos e funcionamento. Disponível em: <http://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2006/T2/057642-T.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

SOUZA, R. F. **O Preço do Risco**. Artigo (online). Publicação de 1º jul. 2012. Disponível em: <http://www.revistadehistoria.com.br/secao/artigos-revista/o-preco-do-risco>. Acesso em: 8 dez. 2017.

TERRA MEIO AMBIENTE. **Relatório de Impacto Ambiental (Rima):** Ampliação da Mina do Palito. Belém, SEMA: 2006. 121 p.

TRES, C.; BECKER, L. B. Desmistificando o Uso de Redes Sem Fio em Automação Industrial. In: CONGRESSO INTERNACIONAL E EXPO SIÇÃO SUL-AMERICANA DE AUTOMAÇÃO, SISTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO, 13., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ISA Show, 2009.

VIEIRA, Angel Freddy Godoy. Tecnologia De Identificação Por Radiofreqüência: fundamentos e aplicações em automação de bibliotecas. **Enc. Bibli Rev. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf.,** Florianópolis, v. 12, n. 24, 2º sem. 2007.

YAMASAKI, R. et al. Tdoa location system for ieee 802.11 b wlan. In: IEEE WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE, New Orleans, 2005. **Proceedings…** New Orleans, USA: IEEE, 2005. v. 4, p. 2338–2343.