



**RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR**  
**ISSN 2675-6218**

**DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES  
 POLICIAIS**

**CHALLENGES OF TECHNOLOGICAL INTEGRATION AND SECURITY IN POLICE  
 COMMUNICATIONS**

**RETOS DE LA INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA Y LA SEGURIDAD EN LAS COMUNICACIONES  
 POLICIALES**

João Claudio Schena<sup>1</sup>, Eduil Nascimento Júnior<sup>2</sup>

e351526

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i5.1526>

PUBLICADO: 05/2022

**RESUMO**

A ausência de padronização de radiocomunicações constitui um problema com reflexo direto na integração entre órgãos de segurança pública por todo o país. O uso de sistemas diferentes que não se comunicam — seja entre estados vizinhos, fronteiras internacionais ou até dentro do mesmo estado — prejudicam o comando, o controle e o gerenciamento de ações, o que impacta nos resultados produzidos, principalmente pelas polícias militares. Para mitigar este problema, este artigo apresenta uma proposta de convergência nas comunicações móveis dos órgãos de segurança pública. Para cumprir este desafio, inicialmente são analisados os padrões mais utilizados no mercado brasileiro de segurança pública; em seguida, são apresentadas diferentes faixas de frequência e formas de captação. Também é discorrido sobre as mais recentes tendências tecnológicas e sua aplicação na atividade de segurança pública. Finalizando o presente artigo, a conclusão aponta a necessidade das instituições que atuam na segurança pública de modernizar seus sistemas de comunicação de forma a garantir a interoperabilidade com as diversas plataformas possíveis, sem perder de vista a proteção dos dados transmitidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Integração. Interoperabilidade. Comunicação. APCO-25. TETRA. DMR. segurança pública. Polícia Militar. Faixa de frequência. Tendência tecnológica.

**ABSTRACT**

*The lack of standardization of radiocommunications is a problem with a direct impact on the integration between public security agencies throughout the country. The use of different systems that do not communicate — whether between neighboring states, international borders or even within the same state — impair the command, control and management of actions, which impacts the results produced, mainly by the military police. To mitigate this problem, this article presents a proposal of convergence in the mobile communications of public security agencies. To meet this challenge, the most used standards in the Brazilian public security market are initially analyzed; then, different frequency bands and ways of capturing are presented. It is also discussed the latest technological trends and their application in public security activity. Ending this article, the conclusion points out the need for institutions that work in public security to modernize their communication systems in order to guarantee interoperability with the various possible platforms, without losing sight of the protection of transmitted data.*

**KEYWORDS:** Integration. Interoperability. Communication. APCO-25. TETRA. DMR. Public security. Military Police. Frequency band. Technological trend.

**RESUMEN**

*La ausencia de estandarización de las radiocomunicaciones es un problema con una reflexión directa sobre la integración entre los organismos de seguridad pública en todo el país. El uso de diferentes sistemas que no se comunican, ya sea entre estados vecinos, fronteras internacionales o incluso dentro del mismo estado— perjudican el mando, control y gestión de las acciones, lo que impacta en*

<sup>1</sup> Polícia Militar do Paraná

<sup>2</sup> Polícia Militar do Paraná



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

*los resultados producidos, especialmente por la policía militar. Para mitigar este problema, este artículo presenta una propuesta de convergencia en las comunicaciones móviles de las agencias de seguridad pública. Para enfrentar este desafío, inicialmente se analizan los estándares más utilizados en el mercado brasileño de seguridad pública; a continuación, se muestran diferentes rangos de frecuencia y formularios de captura. También se trata de las últimas tendencias tecnológicas y su aplicación en la actividad de seguridad pública. Concluyendo este artículo, la conclusión señala la necesidad de que las instituciones que actúan en seguridad pública modernicen sus sistemas de comunicación con el fin de garantizar la interoperabilidad con las diversas plataformas posibles, sin perder de vista la protección de los datos transmitidos.*

**PALABRAS CLAVE:** Integración. Interoperabilidade. Comunicación. APCO-25. TETRA. DMR. Seguridad pública. Policía Militar. Rango de frecuencias. Tendencia tecnológica.

### 1 INTRODUÇÃO

Dentro de inúmeros desafios ao desenvolvimento do Brasil, um dos que mais afetam a área da Segurança Pública é a existência de diferentes padrões de comunicação móvel entre os órgãos de segurança pública – o que interfere, muitas vezes, na integração dentro de um mesmo estado brasileiro, como ocorre em diversas unidades da federação.

A partir de mudanças nas normatizações da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) para reduzir o espaçamento de canais, iniciou-se uma acalorada discussão quanto aos diferentes sistemas de radiocomunicação digital para uso em segurança pública por forças policiais.

A Resolução nº 523/2008 trazia atribuições para adequação do uso de canais de radiocomunicação, especificamente da faixa VHF (30-300 MHz).

Como resultado das discussões realizadas pela Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP), no Ministério da Justiça, surge a Resolução nº 557/2010, que coloca canais de uso policial na faixa 380 MHz (382-392 MHz). A resposta de grupos interessados em manter a faixa VHF em operação vem com a Resolução nº 568/2011, a qual apresenta uma faixa de canais para segurança pública. Enquanto aquela resolução enuncia canais de segurança pública, esta última apresenta-se sutilmente com a faixa denominada canais preferenciais de uso de segurança pública.

Por fim, a faixa VHF encontra-se regulada pela Resolução nº 674/17, com 80 canais preferenciais.

#### 1.1 PROBLEMA

Os diferentes sistemas de radiocomunicação nas Polícias Militares do Brasil afetam diretamente a capacidade operacional no sentido de integração de comunicações, bem como produz desdobramentos que dificultam as ações de rápida resposta por parte das forças militares de segurança.

O Corpo de Bombeiros (CB), apesar de integrar a Polícia Militar do Paraná, possui um projeto próprio de rádio digital no sistema DMR. Atualmente, está em operação na cidade de Maringá, no norte do Paraná, e existem projetos de expansão da rede rádio do CB para cobertura total do estado.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

Portanto, assim como no estado da Bahia, no Paraná existe um sistema de rádio digital na capital e região metropolitana, outro em fase de implantação nas cidades grandes do interior, e as pequenas cidades ainda operam em sistemas analógicos, vulneráveis, desprotegidos e sem qualquer tipo de integração.

### 1.2 HIPÓTESE e JUSTIFICATIVA

Uma plataforma convergente de comunicações com diferentes padrões de rádio digital, é composta por equipamentos e sistemas (*hardware e software*) com capacidade de integrar comunicações de sistemas diferentes de rádio como TETRA, APCO-25, DMR, TETRAPOL, NEXEDGE, entre outros.

Neste cenário, cada rede de rádio terá seu funcionamento pleno e em algum ponto as informações (principalmente áudio) serão extraídas e reunidas num meio de integração com o uso de *Internet Protocol* (IP). Múltiplos padrões e diferentes faixas de radiocomunicação fazem com que forças de segurança e defesa sobrepostas no terreno tenham um comportamento similar ao evento bíblico da torre de Babel, onde ninguém consegue comunicação.

## 2 AS COMUNICAÇÕES DE SEGURANÇA PÚBLICA E OS PADRÕES DE RADIOCOMUNICAÇÕES

As forças policiais necessitam de uma estrutura minimamente adequada de comunicações na sua respectiva área de atribuição, ou nos locais onde realizam ações e operações. Desta forma, requer elementos e dispositivos de infraestrutura como estações repetidoras, estações fixas, móveis e portáteis. Outro aspecto desejável é a garantia de segurança das comunicações por radiofrequência, pois, não raramente, operadores de radioamador, caminhoneiros, curiosos, *hobbistas*, integrantes da imprensa e, infelizmente, muitos criminosos buscam copiar e ouvir as comunicações da polícia, com propósitos diversos.

Um sistema de radiocomunicações para aplicações específicas é formado de dispositivos móveis, portáteis, fixos e elementos de infraestrutura. Esta última contempla o sistema irradiante (torres, antenas, sistemas elétricos, aterramento, equipamentos repetidores, replicadores, conversores de frequência e de energia e bancos de baterias) e o sistema de energia de determinado sítio de RF (NASCIMENTO JUNIOR, 2015).

Serão apresentados, neste capítulo, os padrões de radiocomunicações APCO-25, TETRA e DMR.

### 2.1 O MODELO OSI

O *Reference Model – Open Systems Interconnection* (RM-OSI) é um modelo de referência para interconexão de sistemas abertos. Sistemas de *hardware* e tecnologias diferentes de comunicação são interconectados por diversas interfaces e protocolos de comunicação num ambiente heterogêneo. O modelo OSI é popularmente conhecido como uma abstração onde são

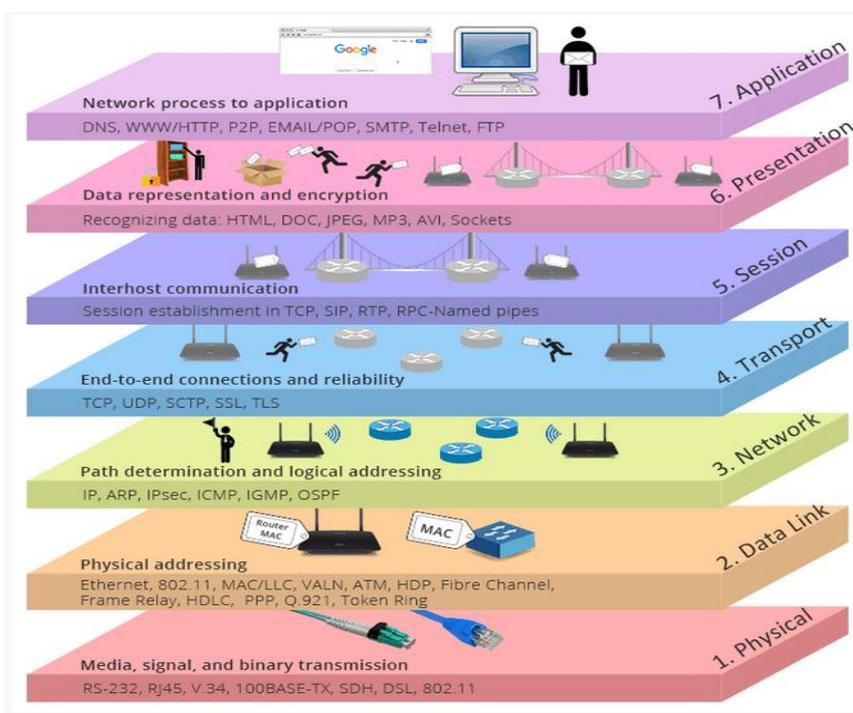


## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

propostas sete camadas com as funções de comunicação. Cada uma delas fornece e solicita serviços para as atividades de troca de informação. Este modelo foi proposto através dos projetos ARPANET e CYCLADES no fim dos anos 1970, conforme a descrição básica da ISO 7498 (DAY; ZIMMERMANN, 1983). As sete camadas são: física, enlace, rede, transporte, sessão, apresentação e aplicação. Na camada física ou camada 1 ocorrem as conexões elétricas e físicas de dados. Como cabos elétricos, par trançado, fibra ótica e frequência de operação para dispositivos sem fio. A camada 2 - enlace é onde ocorre a ligação entre dois ou mais nós de uma rede. Neste caso, temos as conexões ponto a ponto, o endereçamento MAC *Media Access Control* e etapa LLC *Logic Link Control*. A camada 3 - rede é onde ocorre transmissão e recepção de pacotes de dados. A camada 4 - transporte, é onde atuam os protocolos de rede TCP-IP *Transmission Control Protocol*, UDP *User Datagram Protocol* e QoS *Quality of Service*. Na camada 5 - sessão, ocorre o controle de diálogo entre sessões, aqui os aplicativos ou *softwares* entram em operação. A camada 6 - apresentação, é onde se torna visível o resultado de todas as etapas da comunicação; nessa fase é possível, por exemplo, visualizar um arquivo de texto. A sétima e última camada - aplicação, é onde as funções de *software* são mais destacadas e aplicações finais (sistema de nome de domínio DNS, protocolo de transferência de arquivos FTP, protocolo de transferência de hipertexto HTTP, conteúdo de páginas da internet) são visíveis. A figura a seguir mostra uma representação do modelo OSI.

**Figura 1 - REPRESENTAÇÃO DO MODELO OSI.**



Fonte: Iperius



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

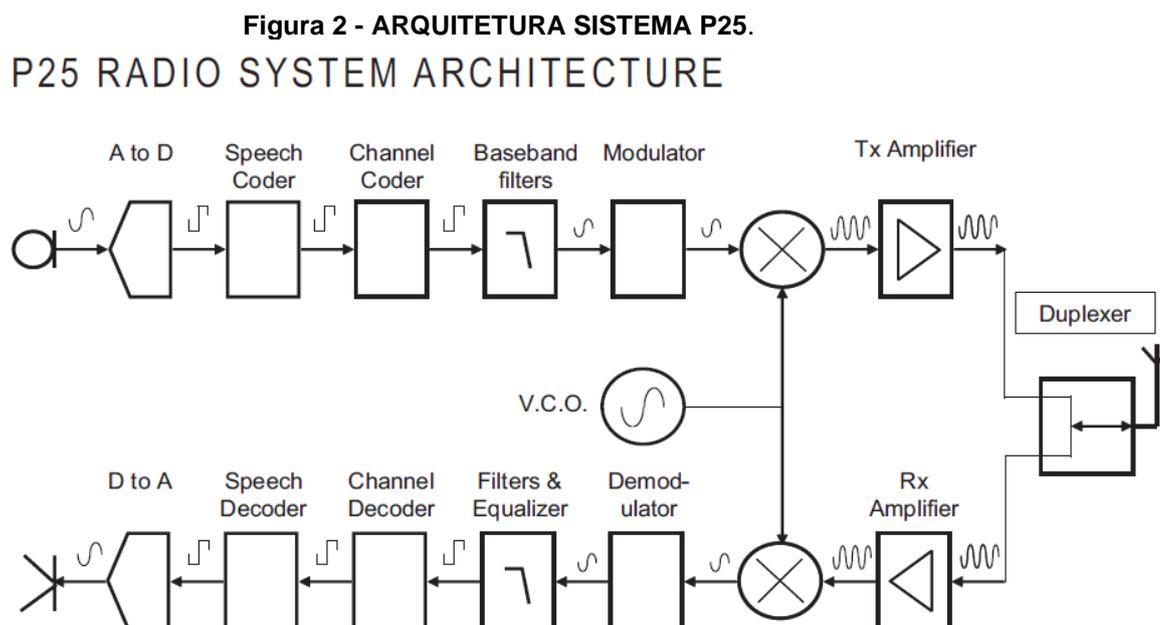
O modelo OSI serve para representação desde a camada física até a etapa ou camada de aplicação, assim ela demonstra as camadas envolvendo *hardware*, *software* e *middleware*, quando conteúdos estão armazenados em nuvens, como dados em redes sociais por exemplo.

### 2.2 O PADRÃO APCO-25

A Associação de Oficiais de Comunicações de Segurança Pública dos Estados Unidos (APCO), publicou em 1989 o projeto n.º 25, o que tornou este padrão conhecido como APCO-25 ou P25. O padrão concebido para segurança pública permite a operação em modo digital troncalizado, modo convencional, modo direto e possui compatibilidade de comunicação com sistemas analógicos.

O detalhamento de especificações é descrito no conjunto de normas ANSI/TIA/EIA-102 e é bastante difundido na América (NASCIMENTO JUNIOR, 2015).

A figura a seguir apresenta os blocos da arquitetura do sistema de rádio P25.



Fonte: P25 Radio Systems

Na figura, são visualizados os blocos de comunicação do sistema P25. A partir do microfone, tem-se o conversor analógico-digital (AD), o codificador de voz, o codificador de canal, os filtros de banda base, o modulador e o amplificador de transmissão, que compõem o transmissor. Já o receptor é formado pelo amplificador Rx, demodulador, filtros e equalizadores, decodificador de canal, decodificador de voz, conversor digital-analógico e saída no alto-falante.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

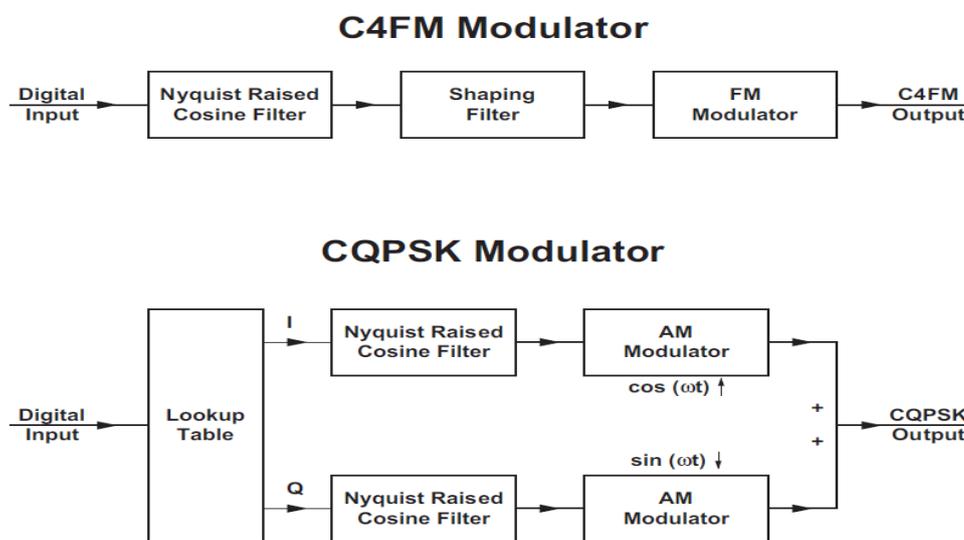
Tabela 1 - SÍMBOLOS E MODULAÇÃO FASES 1 E 2.

Bits de Informação	Símbolo	Fase 1	Fase 2
		C4FM (Desvio)	CQPSK (Ângulo de fase)
01	+3	+ 1.8 kHz	+135 graus
10	+1	+ 0.6 kHz	+45 graus
10	-1	-0.6 kHz	-45 graus
11	-3	-1.8 kHz	-135 graus

Fonte: Adaptado de P25 Radio Systems

O APCO-25 possui duas fases ou etapas de utilização implementadas e uma terceira que não saiu do papel. Na fase 1, o canal possui largura de 12.5 KHz, modulação tipo C4FM, a amplitude da portadora é constante, gera envelope modulado em frequência. Na fase 2, a largura do canal é 6.25 KHz, modulação tipo CQPSK, fase e amplitude são moduladas simultaneamente. A tabela anterior mostra um mapa de símbolos com 2 bits de informação do sistema. Na figura a seguir temos um diagrama de blocos dos moduladores C4FM e CQPSK:

Figura 3 - MODULADORES C4FM E CQPSK



Fonte: P25 Radio Systems Training Guide

Observa-se que o modulador C4FM possui apenas uma linha de blocos, pois realiza a modulação em frequência; já o modulador CQPSK possui duas linhas de blocos em paralelo, que são as modulações em fase (I) e em quadratura (Q) com uma diferença de 90°. A taxa de dados do APCO-25 é 9.6 kbps. O codificador de voz na fase 1 é o IMBE, 88 bits de comprimento num intervalo de 20 ms; na fase 2, é o AMBE +2. A criptografia pode ser proprietária, como o ADP, exclusivo para terminais do fabricante Motorola ou padrões abertos como o DES-OFB *Data Encryption Standard*



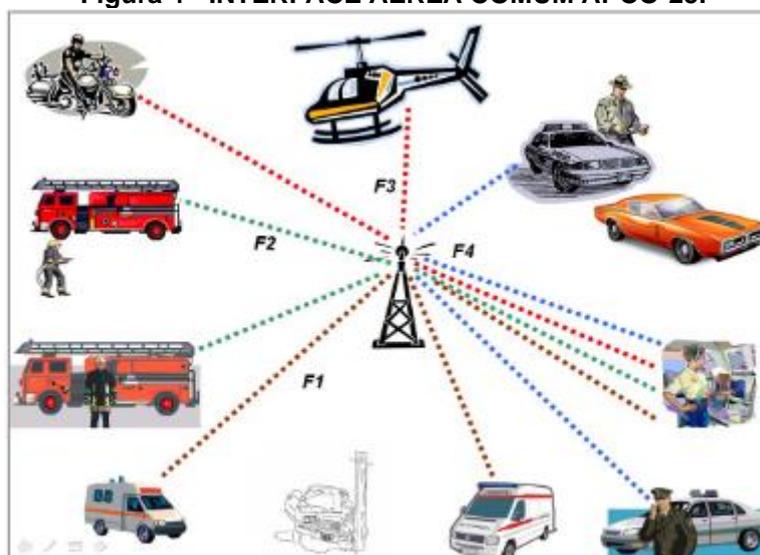
## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

*Output Feedback* com comprimento de 64 bits e AES *Advanced Encryption System* (sistema de criptografia avançado) com comprimento de 256 bits (NASCIMENTO JUNIOR, 2015).

A interface aérea do APCO-25, como pode ser vista na figura a seguir, abrange a saída do sistema irradiante da Estação Rádio Base (ERB) até a entrada dos terminais fixos, móveis e portáteis. As funcionalidades gerais de sistemas troncalizados encontram-se presentes nas fases 1 e 2, mantendo-se a compatibilidade. Uma rede fase 2 permite a comunicação de terminais fase 1, ao custo de ocupação do dobro da largura de banda, ou seja, 12,5 kHz ao invés de 6,25 kHz possível por canal nessa fase.

Figura 4 - INTERFACE AÉREA COMUM APCO-25.



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR *et al.*, 2015)

A figura mostra uma diversidade de usuários numa única ERB. Este uso compartilhado é bastante simplificado no P25, cuja estrutura é destinada a pequeno número de usuários numa grande área.

### 2.3 O PADRÃO TETRA

O padrão TETRA *Terrestrial Trunked Radio* (rádio terrestre troncalizado) é um sistema digital definido e padronizado em 1994 pela ETSI *European Telecommunications Standardization* (instituto europeu de padronização de telecomunicações) e posteriormente pela 3GPP *3rd Generation Partnership Project* (projeto de parceria de terceira geração). A técnica de acesso ao meio é *Time Division Multiple Access* (TDMA) e a taxa de dados é de 28.8 kbps. O esquema de modulação é PI/4 DQPSK ou modulação por deslocamento de fase e quadratura diferencial quaternária, possuindo um período de sincronização entre 800 e 25.000 símbolos. Apresenta diversas interfaces, tais como: interface aérea, interface de equipamentos e periféricos, conexões com redes PSTN *Public Switched Telephone Network* (rede de telefonia pública comutada), ISDN *Integrated Services Digital Network*



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

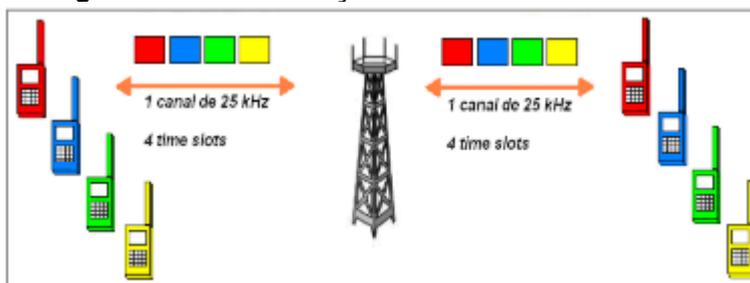
DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

(rede digital de serviços integrados) e IP protocolo de internet. A arquitetura é definida por controle centralizado, que pode ocorrer com um ou mais centros de comutação baseados em PCM *Pulse Code Modulation* (modulação por código de pulso) ou chaveamento IP.

O padrão foi desenvolvido para atender diversos segmentos: segurança pública, transportes, *utilities*, governo, militar, comércio, indústria, óleo e gás. Esse padrão é muito difundido na Europa e na Ásia. O algoritmo de criptografia utilizado no TETRA é o TEA, sendo TEA1 – uso comercial na Europa; TEA2 – uso em segurança pública na Europa; TEA3 – uso em segurança pública fora da Europa e TEA4 – uso comercial fora da Europa. Equipamentos do sistema TETRA podem utilizar algoritmos de criptografia AES.

A técnica de acesso é TDMA *Time Division Multiple Access* (acesso múltiplo por divisão de tempo), como já citado, e é apresentado na figura a seguir:

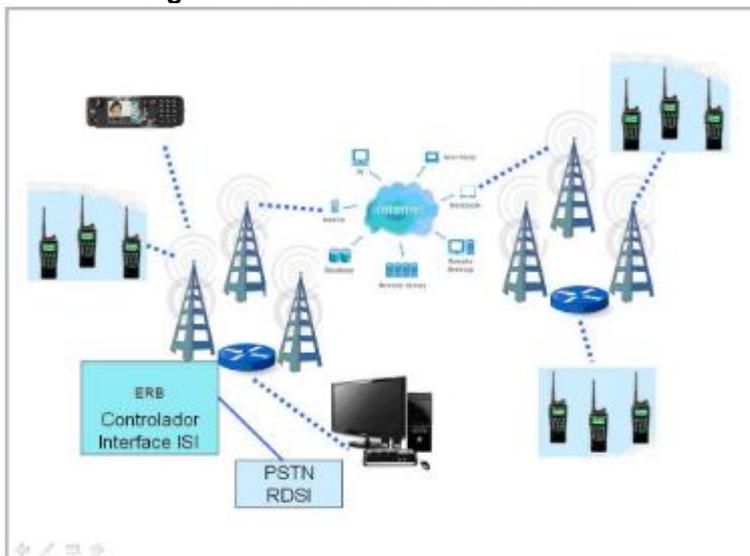
**Figura 5 – COMUNICAÇÃO TDMA SISTEMA TETRA.**



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR *et al.*, 2015)

O TETRA usa 25 kHz de largura de canal, dividido em 4 *slots* de tempo com 6.25 KHz cada. Os modos de operação TETRA são: serviço de dados curtos, modo pacote de dados e modo circuito de dados. Os terminais podem atuar em modo de operação direta (DMO) e com os repetidores, através de *gateways* de repetição ou estações base troncalizadas.

**Figura 6 - INTERFACES REDE TETRA.**



Fonte: (NASCIMENTO JUNIOR *et al.*, 2015)



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

O sistema TETRA possui duas versões. A primeira é conhecida como *Release 1*, que basicamente é o que foi apresentado até aqui. A segunda é chamada de *Release 2* ou TEDS *Tetra Enhanced Data Service* (serviço de dados avançados tetra). Essa versão provê maior flexibilidade, maior capacidade de dados e esquemas de modulação adaptativos (KUMBHAR *et al.*, 2017).

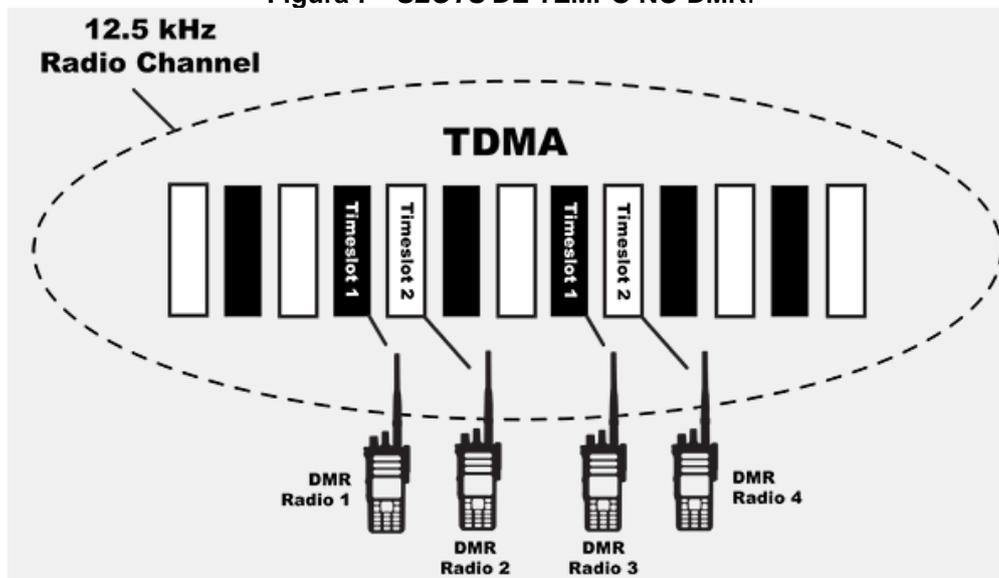
A taxa de dados chega a 518 kbps. O codificador de voz do TETRA é o CS-ACELP *conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction* (estrutura-conjugada com previsão linear por excitação de código), (G.729 da ITU-T), que utiliza um frame de áudio com comprimento de 137 *bits* em 30ms. A estrutura do TETRA é destinada a muitos usuários para uma área restrita (NASCIMENTO JUNIOR, 2015).

### 2.4 O PADRÃO DMR

Em 2005, surge, a partir de um grupo de fabricantes com apoio da ETSI, um padrão de rádio digital móvel que foi denominado *Digital Mobile Rádio* (DMR). A técnica de acesso ao meio é TDMA, com largura de 6.25 kHz, através de dois *slots* de tempo num canal de 12.5 kHz. A taxa de dados é limitada em 4.8 kbps num canal de 6.25 kHz. O codificador de voz é o AMBE +2.

O sistema DMR é disponibilizado em três versões, denominadas *tiers*. O *tier I* é a aplicação de comunicação ponto a ponto ou modo direto. O *tier II* é a aplicação com repetidor no modo convencional e o *tier III* é a versão troncalizada.

Figura 7 - SLOTS DE TEMPO NO DMR.



Fonte: DMR Association

A figura acima mostra os *slots* de tempo no sistema DMR. O DMR também tem compatibilidade com sistemas analógicos. Aplicações de troca de mensagens de texto, uso de GPS, localização e telemetria podem ser desenvolvidas para dispositivos DMR, os quais possuem, ainda,

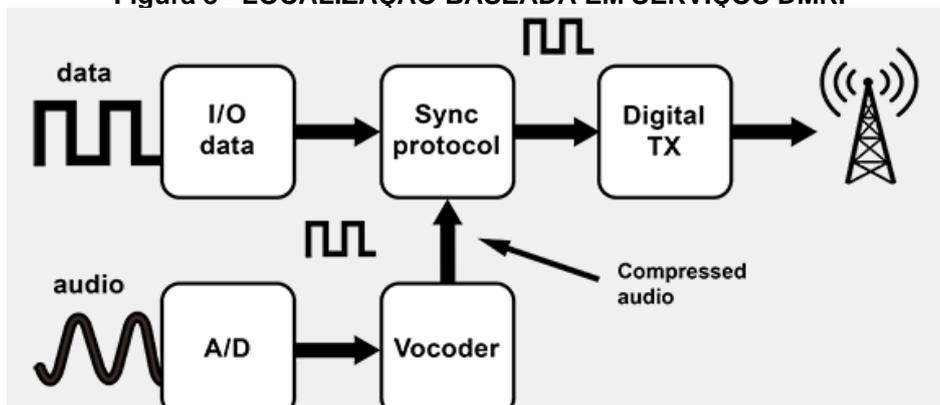


## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

fácil integração com protocolo de internet IP. Neste caso, dados e voz são transmitidos, como mostra a figura a seguir:

Figura 8 - LOCALIZAÇÃO BASEADA EM SERVIÇOS DMR.



Fonte: DMR Association

As características dos três padrões verificados – APCO-25, TETRA e DMR, seguem apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 2 - PADRÕES DE RÁDIO DIGITAL ANALISADOS.

Característica	PADRÃO				
	APCO-25 F1	APCO-25 F2	TETRA R1	TETRA R2	DMR
Modulação	C4FM	CQPSK	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK	4 FSK
Frequência de operação	1,2,3,4	1,2,3,4	5	5	6
Largura de canal (kHz)	12.5	6.25	6.25	6.25	6.25
Canal de Controle	12.5	12.5	6.25	6.25	12.5
Canais em 25 kHz	2	4	4	4	4
Potência Portátil (W)	5	5	3	3	5
Potência Móvel (W)	45	45	10	10	45
Potência Repetidor (W)	45 *	45 *	75	75	45
Compatível com Analógicos	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Operação Convencional	SIM	SIM	NÃO	NÃO	SIM
Operação Troncalizada	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Técnica de Múltiplo Acesso	FDMA	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA
Codificador de Voz	IMBE	AMBE	ACELP	ACELP	AMBE
Mensagens de texto	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
GPS	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Criptografia	DES-OFB/AES	DES-OFB/AES	TEA /AES	TEA /AES	AES
Taxa de dados (kbps)	9.6	9.6	28.8	518	4.4
Controle Potência Portátil	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM

Id	1	2	3	4	5	6
MHz	136-174	380-512	746-806	806-870	299-800	66-960

\* Potência aplicável na faixa de frequência 1.

Fonte: Os autores



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

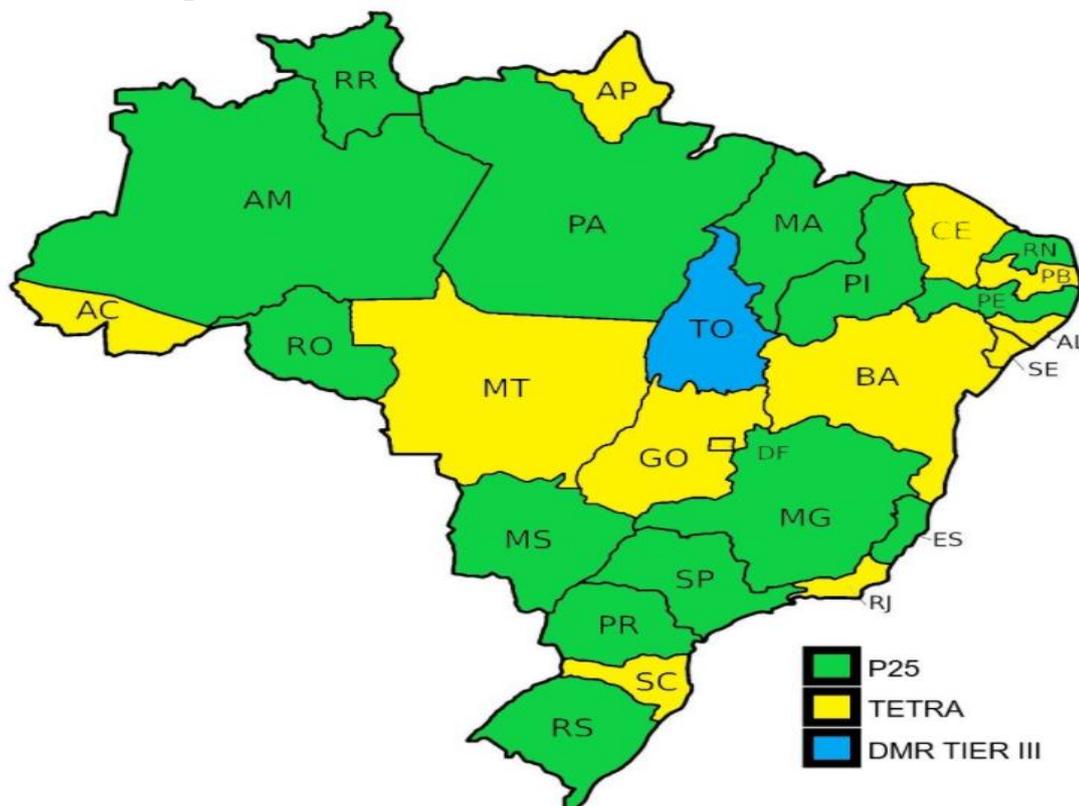
DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schem, Eduil Nascimento Júnior

Note que muitas características do P25 Fase 2 e do DMR são similares como largura de canal, canal de controle, potência de portátil e móvel, compatibilidade com analógicos, operação convencional e troncalizada, acesso TDMA, codificador de voz, mensagens de texto, GPS e criptografia.

Em relação aos três padrões de rádio, observa-se semelhanças e divergências, como a largura de canal que se situa em torno de 6.25 KHz, no TETRA, DMR e P-25 fase2. Outra característica é a largura do canal de controle, que no DMR e no P25 está em 12.5 KHz — esta é a relação que mantém a compatibilidade com sistemas analógicos e é considerada o ponto forte desses dois sistemas em relação ao TETRA. Outro aspecto significativo é o controle de potência no terminal portátil e mensagens de texto que são nativos no TETRA e no DMR, sendo parciais no P25. Por fim, verifica-se que o sistema DMR busca prover as melhores características e funcionalidades presentes no P25 e no TETRA e, por possuir um maior número de fabricantes, é um forte candidato a se tornar o sistema de radiocomunicações predominante.

A figura a seguir mostra a distribuição dos sistemas de rádio adotados nas polícias militares pelos estados brasileiros.

**Figura 9 - SISTEMAS DE RÁDIO UTILIZADOS NOS ESTADOS.**



Fonte: Os autores



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

Assim, observa-se que existe uma distribuição equilibrada entre os sistemas Tetra e APCO-25. Já no estado do Tocantins, verifica-se o uso do padrão DMR. Um fato interessante é que o protocolo DMR possui muitos fabricantes — 76 listados no site da associação DMR (DMR Community) e, apesar de ser o mais recente protocolo, possui custos de implantação menores do que o TETRA e o P25.

Neste tópico, foram apresentados os diversos padrões de rádio, iniciando pelo modelo *Open Systems Interconnection* (OSI), que referência a interconexão dos sistemas abertos, passando pelo padrão apresentado através do 25.º projeto da Associação de Oficiais de Comunicações de Segurança Pública dos Estados Unidos (APCO), o qual ficou conhecido como APCO-25 ou P25 que, com suas três fases ou etapas de utilização visou atender às necessidades da área de segurança pública. Também foi discutido sobre o padrão europeu denominado *Terrestrial Trunked Radio* (rádio terrestre troncalizado), ou TETRA, que cuidou de atender a uma gama maior de necessidades, além da segurança pública. O outro padrão estudado no capítulo é o *Digital Mobile Radio* (DMR), o qual dispõe de três versões que, em oposição aos dois anteriores, possuem um custo de implantação menor. O capítulo também buscou promover o levantamento de qual padrão é adotado por cada uma das corporações policiais militares da federação. Deste levantamento, constatou-se um equilíbrio entre os padrões TETRA e APCO-25, tendo apenas o estado do Tocantins optado por um padrão diverso ao utilizar o DMR *Tier III*. Ao final, foi tratado a respeito da quantidade de fornecedores e de sua rede de assistência técnica, sendo observada uma preponderância de duas grandes empresas: Motorola e Hytera, as quais oferecem sua tecnologia diretamente pela marca, ou através de uma empresa pertencente ao seu portfólio. Por derradeiro, encontra-se o resultado do levantamento sobre a rede de assistência técnica na Bahia e no Paraná, estados onde se percebe a cobertura dos três padrões tratados no presente estudo: APCO-25, TETRA e DMR.

### 3 FAIXAS DE FREQUÊNCIA

Em Curitiba podemos, com certa facilidade, “ouvir” as comunicações das seguintes faixas de frequências:



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

**Tabela 3 – Faixas de frequência e aplicações**

Início (MHz)	Fim (MHz)	APLICAÇÃO	FAIXA
88	108	FM comercial	VHF
118	135	Comunicação de Aviação	
136	160	Diversos Serviços	
167	174	Segurança Pública	
174	216	TV VHF	
380	400	Segurança Pública	UHF
470	608	TV Digital	
806	824	Segurança Pública	
824	834,4	Telefonia Celular Banda A	
834,4	845	Telefonia Celular Banda B	

**Fonte:** Os autores

Como os sinais estão transitando pelo ar, a captação é simples, e considerando a atuação de hobistas, estudantes, pesquisadores enquanto pessoas bem intencionadas que tratam do assunto para produzir resultados benéficos para a sociedade, existem também aqueles que estão interessados em captar sinais com propósitos maliciosos, como criminosos no planejamento de ações do conhecido “novo cangaço”\*, ou ainda pessoas interessadas em saber as ações da polícia, bombeiros, fiscalização de trânsito, etc. Adiante será apresentada forma de captação de sinais disponíveis no espectro de radiofrequência.

### 3.1 RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE

Com o uso de um receptor RTL-SDR é possível sintonizar e ouvir de forma simples, canais de comunicação analógica e digital dentro da faixa apresentada na Tabela 1.

Figura 10 - Detalhamento RTL2832.



Fonte: Os autores

O desenvolvimento de receptores através da técnica de rádio definido por *software* (SDR) permitiu uma rápida evolução, considerável redução no tamanho dos dispositivos e consequentemente no custo. Assim é possível encontrar no mercado equipamentos com baixo custo e completos para determinadas aplicações. Um exemplo usado neste artigo é o demodulador RTL2832u, onde o chip principal com o mesmo nome foi desenvolvido pela Realtek (empresa de semicondutores sediada em Taiwan). Temos ainda neste dispositivo uma interface USB 2.0 utilizada para comunicação com um computador, o demodulador RTL 2832u é o circuito integrado principal do dispositivo, um sintonizador DTV R820T2, que recebe sinais de TV digital. O clock do circuito vem de um cristal oscilador de 28.8 MHz. O *firmware* é uma EEPROM serial (local onde é armazenado o



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

programa de operação do demodulador). Possui também um regulador de tensão AMS1117, para tensões que podem variar de 1.5 a 3.3 V e um diodo de proteção ESD BAV99. O sensor IR (infravermelho) completa os componentes do aparelho.

O circuito principal reúne conversor analógico-digital, filtros analógicos e digitais, PLL entre outras características que fazem deste pequeno receptor um equipamento para múltiplas análises de sinal. O dispositivo RTL-SDR é indicado para laboratórios de engenharia, ensino e pesquisa. Este aparelho permite aplicações em várias faixas de frequência como: AM, FM, ISM, GSM, LTE e GPS. (STEWART, 2015).

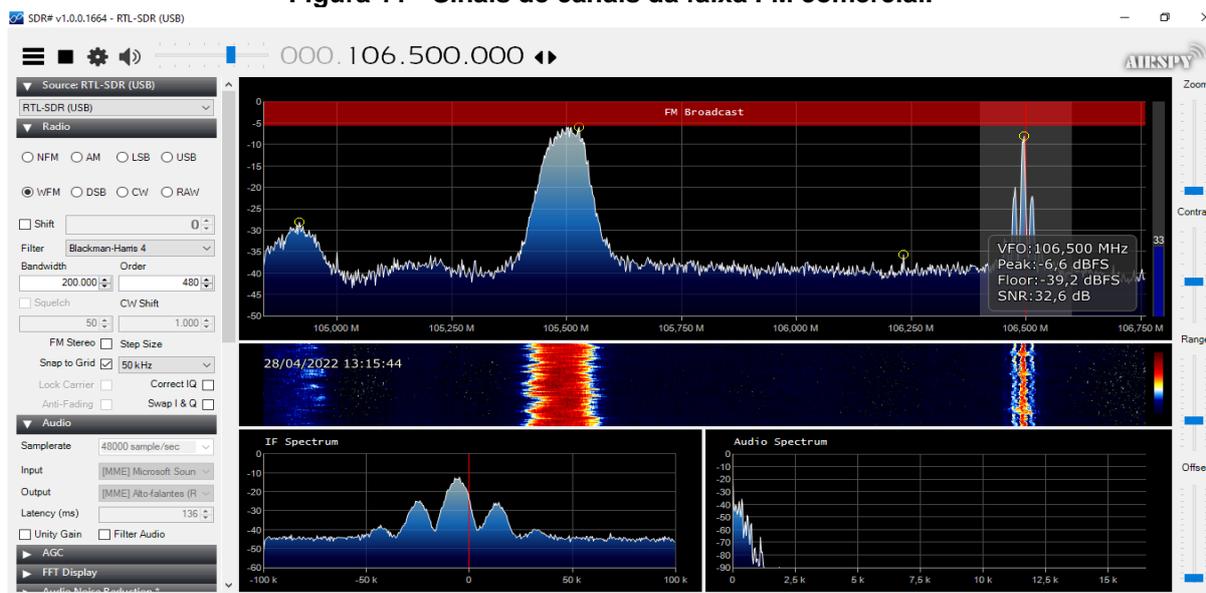
Este dispositivo foi utilizado no estudo de caso (PEDRO; MEDEIROS, 2020), onde um conjunto de receptores é aplicado associado a um computador para processamento dos sinais. O artigo apresenta a análise de 3 receptores de sinal, onde são calculadas as correlações, estimado o tempo de atraso e a sincronização dos sinais, possibilitando através da triangulação geométrica a localização da fonte emissora. Concluiu-se ser possível usar sistemas e equipamentos livres de qualquer licença, assinatura, de baixo custo e grande eficiência em missões de Guerra Eletrônica.

No artigo (SHAPOSHNIKOV *et al.*, 2017), o receptor RTL-SDR foi utilizado para captar sinais de comunicações APCO-P25 da polícia em Moscou. Neste estudo foi aplicado o sistema Yandex de reconhecimento de voz. O resultado permitiu além da captação, a conversão do conteúdo de voz em texto.

### 3.2 SINAIS CAPTADOS

Em nossa análise, buscamos demonstrar que muitos dos sinais são captados facilmente, como o conteúdo de estações de rádio FM comercial são abertos, a recepção deste tipo de sinal é mostrada na figura a seguir:

**Figura 11 - Sinais de canais da faixa FM comercial.**



Fonte: Os autores

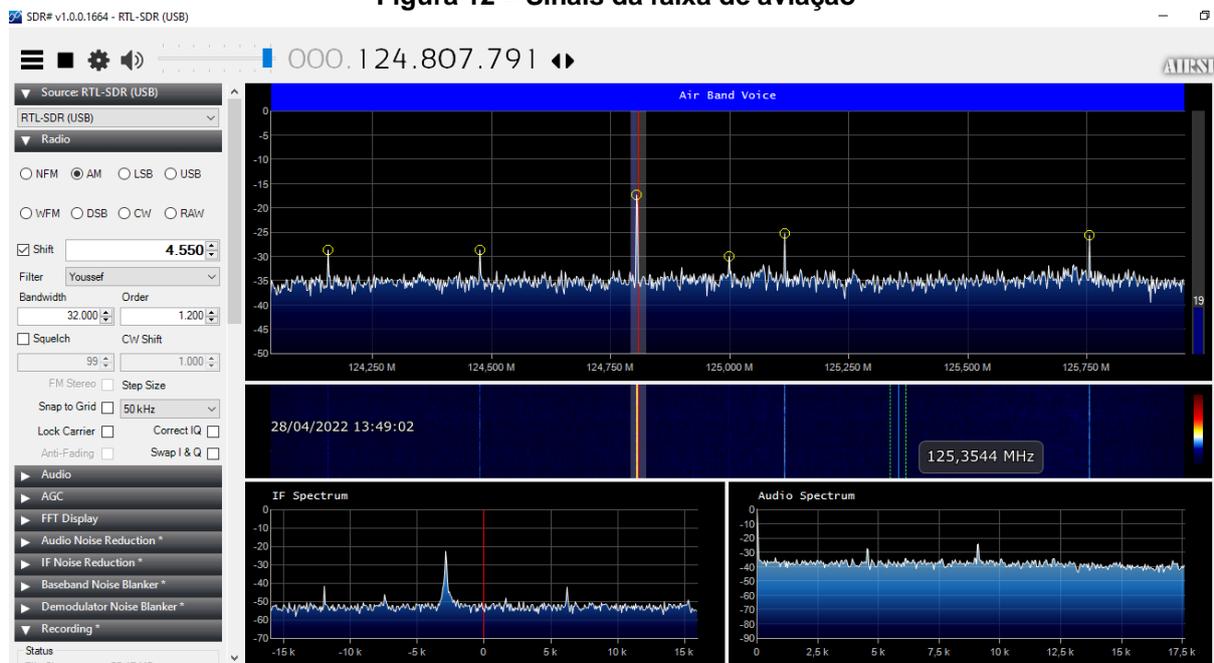


## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

Neste exemplo foi sintonizada uma estação FM que realiza *broadcast* na cidade de Curitiba. Outros tipos de sinal também são recebidos conforme a figura a seguir:

**Figura 12 – Sinais da faixa de aviação**



**Fonte:** Os autores

Neste caso tem-se a captura de sinais da faixa destinada a aviação, cabe ressaltar aqui, que esta captação foi realizada para produção deste artigo, e o dispositivo utilizado não permite a transmissão, apenas a recepção de sinais.

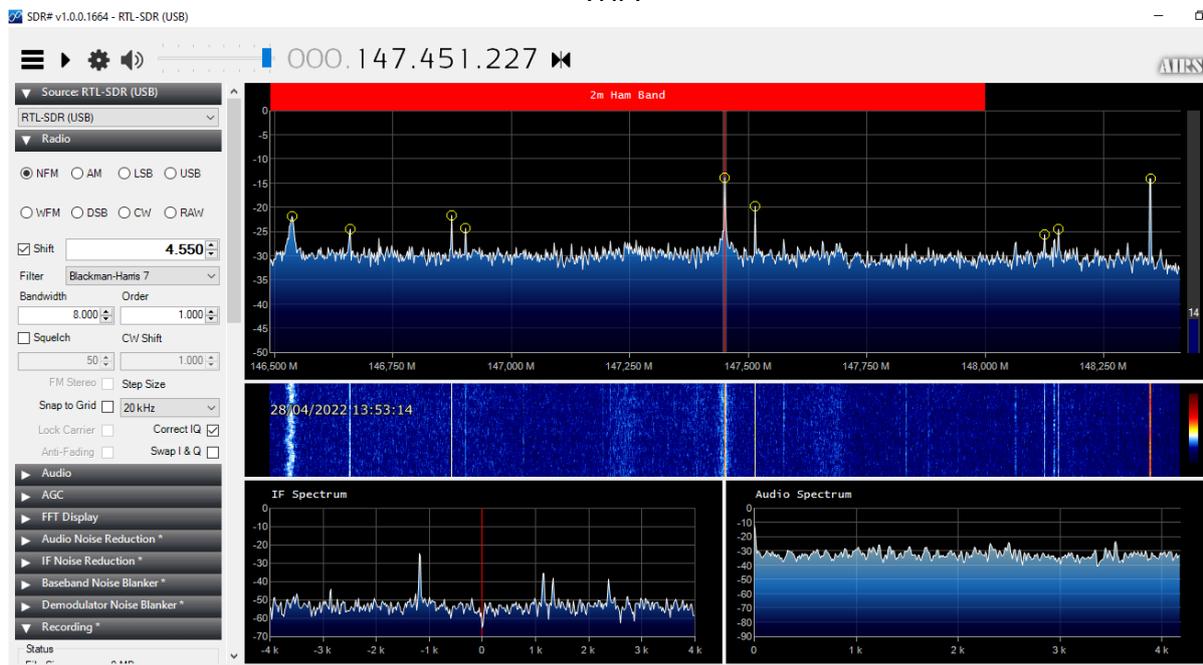
Ao subir os valores de frequência, chega-se à faixa de radioamador, a imagem seguinte mostra o espectro.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

Figura 13 - Sinais faixa radioamador VHF.



Fonte: Os autores.

Esta faixa deve ser operada por pessoas que possuem autorização junto a Anatel para isso, e naturalmente, são detentores dos prefixos de identificação, que no Paraná são indicados pela sigla PY5.

Como foi demonstrado nas figuras anteriores, é relativamente simples o fato de “ouvir” canais de comunicação analógica e digital. Obviamente que existem restrições legais na prática não autorizada de escuta clandestina de canais, tendo notadamente o maior impacto nos canais analógicos, por estarem desprotegidos como é o caso dos canais usados na aviação, e na segurança pública. No primeiro caso, a interferência no canal pode causar danos catastróficos chegando a acidentes aéreos, queda de aeronaves etc. No segundo caso, pode até parecer menos impactante, contudo, a segurança pública afeta de forma mais ampla e abrangente o cidadão comum. A prova disso é simples, uma breve comparação nos dados oficiais revela que o número médio de passageiros diários no aeroporto internacional Afonso Pena, na região de Curitiba, gira em torno de 6.000. Curiosamente, o número de chamados para Polícia Militar ou Corpo de Bombeiros durante 24h de observação também é aproximado de 6.000 ligações para o COPOM (Centro de Operações Policiais Militares) Curitiba. Entretanto, cabe ressaltar algumas diferenças específicas, ou seja, num caso de fatalidade onde um avião venha a cair por problemas de comunicação, teríamos um total de 180 a 200 vidas perdidas por aeronave (considerando aviões de voos domésticos), já quanto aos chamados de emergência, cada registro no sistema da PMPR ou Corpo de Bombeiros corresponde a, pelo menos, 03 (três) pessoas que de fato precisam de ajuda. Assim, num total de 6.000



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

chamados, seriam na realidade 18.000 pessoas que precisam de ajuda ou estão em situação de emergência.

**Figura 14 - Impacto das comunicações**



**Fonte:** Os autores

Os dados mostram a importância e relevância do tema segurança nas comunicações via rádio, entretanto nota-se que a atuação das forças de segurança, como a Polícia Militar e o Corpo de Bombeiros, desempenham um papel fundamental na estrutura da sociedade, pois atende qualquer pessoa que chamar pelos números de emergência 190, 193, ou ainda pelo App190 da PMPR, independente do horário do dia ou da noite, e da condição social ou financeira da pessoa que solicita socorro. Por essa razão, entende-se que os órgãos de segurança não podem manter suas operações de forma vulnerável e desprotegida. E, justamente em virtude disto, é que na Polícia Militar do Paraná é adotado o conceito de proteção das comunicações através do uso de algoritmos de criptografia. Já no Corpo de Bombeiros esta proteção não é uma premissa básica, pois a atuação de Bombeiros em casos de calamidade utiliza até mesmo as redes de radioamadores, que são conhecidos pela sigla REER – Rede Estadual de Emergência de Radioamadores, vinculada à Divisão de Gestão de Desastres (DGD) da Coordenadoria de Defesa Civil do Estado do Paraná. Em ocasiões de calamidade, os radioamadores da REER prestam um serviço de excelência, ajudando os órgãos de segurança em momentos críticos. Contudo, nas ações policiais é inadmissível a operação de comunicação em canais analógicos abertos, onde qualquer pessoa, independente das reais intenções, pode acessar o conteúdo das conversações dos militares em serviço. Por fim, cabe



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

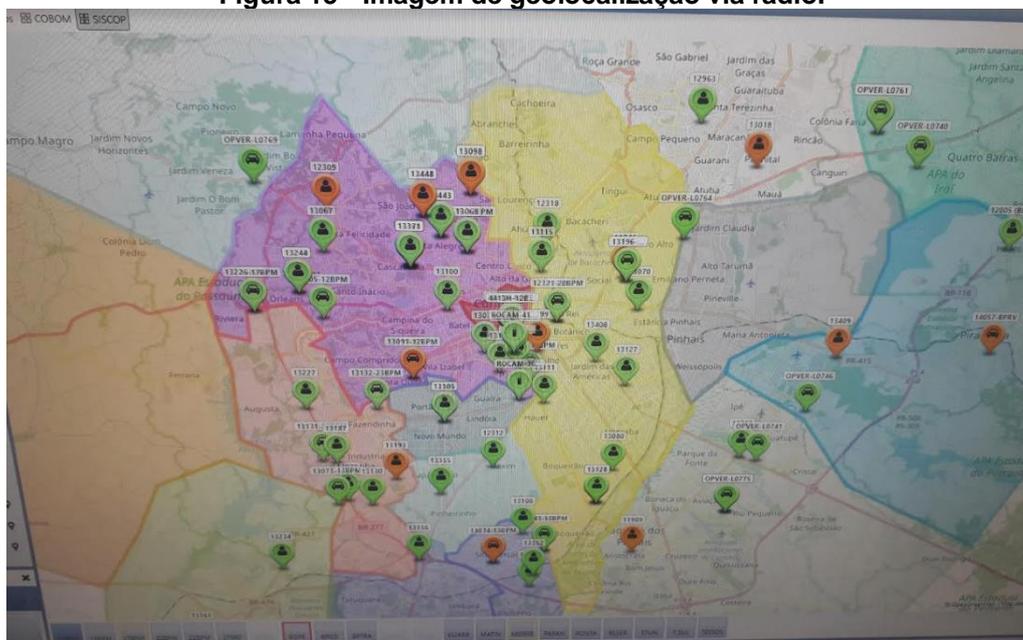
ressaltar que o protocolo adotado pela PMPR é de operação dual, ou seja, funciona nos modos analógico e digital, assim as comunicações cotidianas são protegidas, e em caso de necessidade, são utilizados canais analógicos.

### 4 TENDÊNCIAS TECNOLÓGICAS

Como foi demonstrado brevemente neste artigo, as comunicações aplicadas na segurança pública não devem estar vulneráveis, sujeitas a interceptações e interferências de pessoas não autorizadas, pois os impactos na prestação de serviços de emergência e socorro, realizados pela Polícia Militar e pelo Corpo de Bombeiros, seria bastante prejudicada.

Outro aspecto relevante é a discussão sobre os padrões tecnológicos de radiocomunicação digital. Atualmente destacam-se 03 sistemas que são o APCO-25, o TETRA e o DMR. Destes, o DMR possui a vantagem de reunir um maior número de fabricantes e fornecedores, o que se traduz num menor custo de implantação. Entretanto, independente da escolha de determinados órgãos de segurança, é notadamente importante observar as possibilidades de integração e interoperabilidade. Como é o caso do Paraná, onde a Polícia Militar opera APCO-25 e o Corpo de Bombeiros optou pelo DMR, a integração entre os dois sistemas pode ser feita através de ambiente IP, plataformas conectividade SIP, chegando à integração via consoles de despacho. Neste caso, com sistemas operando em modo digital, é possível obter a geolocalização dos terminais, bastante útil em ocorrências policiais e de bombeiros.

**Figura 15 - Imagem de geolocalização via rádio.**



**Fonte:** Os autores

Outra forma de integração com sistemas diferentes é o uso de aplicativos de voz conectados à plataforma de controle de rádios. O funcionamento ocorre através de um botão PTT (aperte para falar) virtual no smartphone. É o PoC *Push-to-Talk over Cellular*, ou, aperte para falar na rede rádio



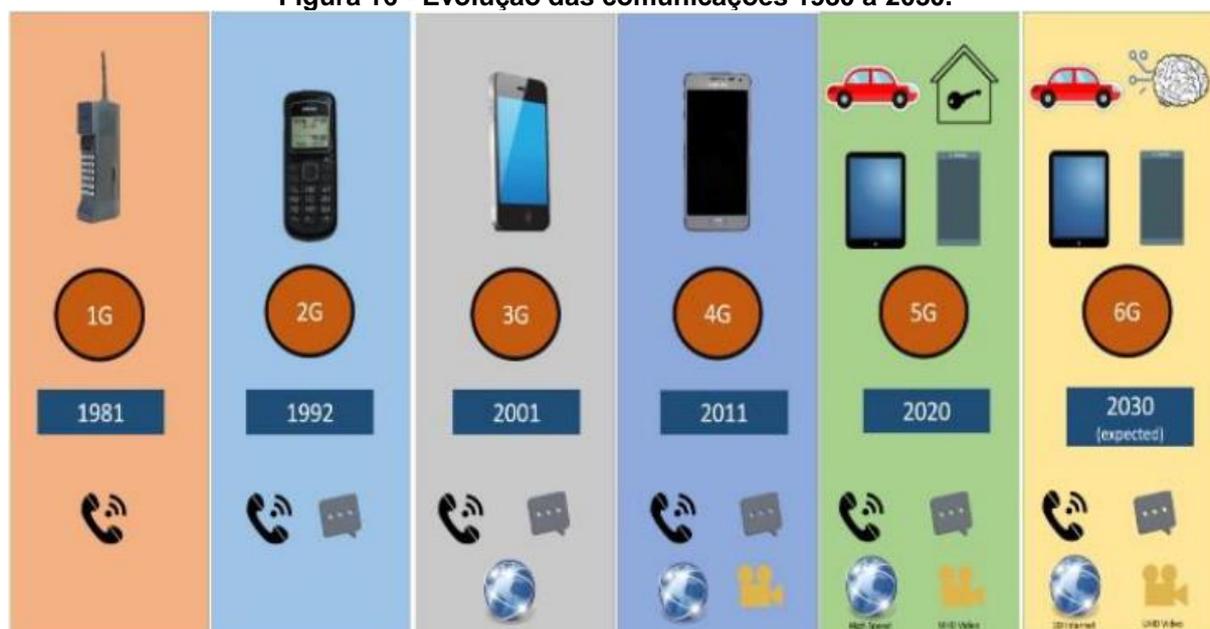
## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

através do telefone celular. A loja de aplicativos para sistema *Android*, *Google Play*, possui centenas de aplicativos com estas funcionalidades. (CHAUDHRY; HAFEZ, 2019).

As tendências de avanço da tecnologia caminham no sentido de alta integração, alta demanda, fácil acesso. Isto posto, cabe observar e evitar o uso sem planejamento de tecnologias de comunicação, ao passo que acabam criando o ambiente VICA (Volátil, Incerto, Complexo e Ambíguo). A figura a seguir mostra a evolução de sistemas de comunicação ao longo do tempo.

**Figura 16 - Evolução das comunicações 1980 a 2030.**



Fonte: Nascimento Junior, 2015.

### CONCLUSÃO

Assim como existem diferentes sistemas de comunicação via rádio utilizado por órgãos de segurança pública, tão importante quanto proteger as comunicações evitando vulnerabilidades de sistemas analógicos, é necessário o uso de ferramentas de integração, pois em determinado momento será necessária a comunicação integrada de policiais, bombeiros, órgãos de trânsito, entre outros e, neste momento, é essencial dispor de uma infraestrutura mínima capaz de atender à demanda.

Outra questão crucial é a previsibilidade de ferramentas de integração de forma simples e fácil para os operadores da ponta, ou seja, para policiais, bombeiros, agentes penitenciários, guarda-municipais, operadores de trânsito, que nos momentos críticos precisam ter acesso direto às comunicações, sejam lá quais forem os meios disponíveis.

O desafio é modernizar as comunicações dos órgãos de segurança, garantindo a interoperabilidade com as diversas plataformas possíveis, sem descuidar da proteção e evitar acessos indevidos ao conteúdo de uso exclusivo das forças de segurança.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO TECNOLÓGICA E SEGURANÇA NAS COMUNICAÇÕES POLICIAIS  
João Claudio Schena, Eduil Nascimento Júnior

### REFERÊNCIAS

AEROPORTO INTERNACIONAL AFONSO PENA (Paraná). Funcionamento: Movimentação mensal. *In: SOBRE O AEROPORTO INTERNACIONAL DE CURITIBA*. [S. l.], 28 abr. 2022. Disponível em: <https://www.aeroportoafonsopena.com/>. Acesso em: 28 abr. 2022.

BIA-2021. **Bradesco Inteligência Artificial**. [S. l.]: Bradesco, 2021. Disponível em: <https://banco.bradesco/canaisdigitais/conheca-bia.shtm>. Acesso em: abr. 2022.

CHAUDHRY, A. U.; HAFEZ, R. H. M. LMR and LTE for Public Safety in 700 MHz Spectrum. **Wireless Communications and Mobile Computing**, v. 2019, Oct. 2019.

DAY, J. D.; ZIMMERMANN, H. The OSI Reference Model. **Proceedings of the IEEE**, v. 71, n. 12, p. 1334–1340, 1983.

KUMBHAR, A. *et al.* A Survey on Legacy and Emerging Technologies for Public Safety Communications. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 19, n. 1, p. 97–124, 2017.

NASCIMENTO JUNIOR, E. *et al.* Performance Analysis of 380-470 MHz Band Radio Systems for Brazilian Public Security Use. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 3, p. 613–622, 2015.

PEDRO, C. T.; MEDEIROS, T. Funcionalidade dos Software e Hardware livres na Localização De Sinais : estudo de caso , analisando o uso do SDR-RTL pelo método TDOA. **Data & Hertz**, v. 1, n. 1, p. 34–41, 2020.

POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ. **COPOM Média de acionamento 190 e 193**: últimas 24 horas. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <http://siscop03.pmpr.parana/siscopweb/index.php>. Acesso em: 22 abr. 2022.

SHAPOSHNIKOV, S. *et al.* Research in Radio Frequency Signals Using APCO P25 Standard in Moscow. *In: IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, St. Petersburg, 2017

STEWART, R. W. *et al.* A Low-Cost Desktop Software Definet Radio Design Environment Using MATLAB, Simulink, and the RTL-SDR. **IEEE Communications Magazine**, v. 2, n. 3, p. 110-118, 2015.

TCU. **TCU aprova o edital do leilão do 5G**. Brasília: TCU, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcom/pt-br/noticias/2021/agosto/tcu-aprova-edital-do-leilao-do-5g>. Acesso em: fev. 2022.

TR Rádio. **Implantação da Rede de Radiocomunicação Digital**. [S. l.]: STELECOM, 2018. Disponível em: [https://comprasnet.ba.gov.br/sites/default/files/tr\\_expansao\\_rede\\_digital\\_dmr-12042018.pdf](https://comprasnet.ba.gov.br/sites/default/files/tr_expansao_rede_digital_dmr-12042018.pdf). Acesso em: abr. 2022.