

● CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

IMPLANTAÇÃO DE PROJETO DE RADIOCOMUNICAÇÃO TETRA NA FAIXA DE FREQUÊNCIA UHF EM AEROPORTOS

Altair Fábio Silvério Ribeiro¹

RESUMO: A etapa de elaboração de projeto de engenharia em qualquer empreendimento é de suma importância para mitigar a possibilidade de erros, porém nem sempre é dada a devida atenção a este processo. Esta redução de falhas e, conseqüentemente, a otimização no processo de confecção do projeto, pode ser alcançada com a adoção de diretrizes norteadoras. Tomando como referência projetos de redes de Rádio Móvel Privado - *Private Mobile Radio* (PMR), especificamente do padrão *Terrestrial Trunked Radio Access* (Tetra), objetiva-se com este artigo propor uma sistemática de condicionantes mínimas em nível técnico e de legislação para elaboração de projeto executivo desta tecnologia em aeroportos brasileiros ou em outros ambientes que possuam demandas e características semelhantes a essas. A metodologia de pesquisa foi exploratória - descritiva com abordagem qualitativa, em que desenvolveu-se um estudo do assunto com base nas referências bibliográficas indicadas. Inicialmente, destacamos alguns fundamentos elementares da tecnologia Tetra apresentado a sua infraestrutura básica, a arquitetura e os principais utilizadores do sistema. Uma relação das principais normas para projetos deste gênero será apontada, permitindo ao engenheiro projetista ter agilidade e eficácia na execução de processos desta natureza. Quanto aos parâmetros técnicos, sugere-se uma estrutura mínima para projeto executivo, composto por três cadernos técnicos, sendo eles: Memorial Descritivo, Caderno de Plantas e Caderno de Manuais Técnicos dos Equipamentos (*Datasheets*).

Palavras-chave: Projeto Executivo. Rádio Digital. Troncalizado.

TETRA RADIO PROJECT IMPLEMENTATION IN THE UHF FREQUENCY RANGE AT AIRPORTS

ABSTRACT: The development stage of engineering design in any endeavor is extremely important to mitigate the possibility of errors, but it is not always given due attention to this process. This reduction of failures and consequently the optimization of the project preparation process can be achieved by adopting guiding guidelines. Referring networks projects of Private Mobile Radio (PMR), specifically the standard *Terrestrial Trunked Radio Access* (Tetra), the aim of this article is to propose a system of minimum conditions on a technical level and legislation for the preparation of executive design of this technology in Brazilian airports or other environments that have quite similar characteristics and demands. The research methodology is exploratory - descriptive with a qualitative approach, in which it was developed a study based on detailed references. Initially, we highlight some basic foundations of Tetra introduced its basic infrastructure technology, architecture, and the main users of the system. It will be appointed a list of the applicable provisions for this sort of research, allowing the engineer designer agility and efficiency in the execution of such proceedings. As for the technical parameters, is suggested a minimum structure for executive project, consisting of three technical books, namely: Descriptive Memorial, Notebook plants and technical manuals Notebook Equipment (*Datasheets*).

Keywords: Airports. Executive project. Digital Radio. Trunking.

¹ Especialista em Sistemas de Telecomunicações, Professor do IFTM, Paracatu, MG, Brasil. altair@iftm.edu.br

INTRODUÇÃO

As Redes de Rádio Móvel Privado, *Private Mobile Radio* (PMR), foram desenvolvidas para usuários que precisam manter contato ao longo de distâncias relativamente curtas com uma estação base ou despachador central. Geralmente, elas oferecem facilidades para grupos fechados de utilizadores, chamada de grupo usando terminais com operação do tipo pressione para falar (*push-to-talk*), e têm tempos de estabelecimento de chamadas que são curtos em comparação aos sistemas de telefonia celular. Tal sistema serve um grupo fechado de usuários e que, normalmente, é de propriedade e operados pela mesma organização (ETSI, 2016).

A constante evolução tecnológica nas diversas áreas do conhecimento proporciona o surgimento de técnicas, equipamentos e sistemas com vantagens quando comparados aos seus padrões legados. Os primeiros padrões de PMR eram analógicos e possuíam limitada capacidade e poucas funcionalidades operacionais, de segurança e gerenciamento. A tecnologia no padrão digital *Terrestrial Trunked Radio Access* (Tetra) representa uma das soluções que buscou suprir as fragilidades supracitadas dos sistemas analógicos. Os principais utilizadores de redes Tetra são forças de segurança, tais como bombeiros, polícia, proteção civil, guarda costeira, polícia florestal, serviços de emergência médica, serviços prisionais e militares, instituições públicas, empresas de transportes rodoviários, ferroviários e aeroportuários.

Tendo em vista a relevância deste assunto, este artigo tem como objetivo apresentar os conceitos básicos da tecnologia Tetra e propor um modelo de elaboração de projeto executivo para implantação deste padrão na faixa de Frequência Ultra Alta - *Ultra High Frequency* (UHF) em aeroportos.

PADRÃO E ARQUITETURA DE RADIOCOMUNICAÇÃO TETRA

O sistema de Rádio Tetra é um padrão digital de PMR, desenvolvido na Europa no início da década de 90. O Tetra, por se tratar de uma tecnologia digital, com arquitetura escalável e de uma elevada eficiência espectral, permite o desenvolvimento de redes

com configurações que variam desde pequenas áreas até uma cobertura em nível nacional, ou até mesmo internacional (TANDCCA, 2016).

A tecnologia Tetra segue a norma Pan-Europeia de *trunking*, criada pelo Instituto Europeu de Padrões de Telecomunicações, *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI).

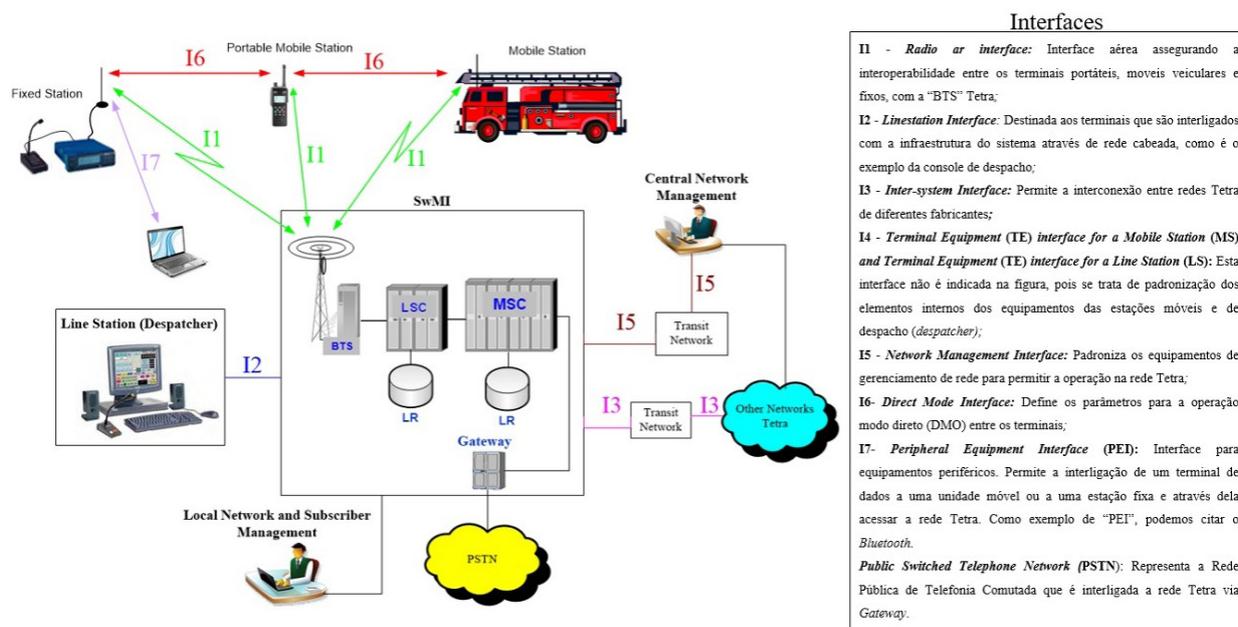
As redes Tetra chegaram ao Brasil no final dos anos 1990, no entanto, apenas em 2007 uma rede de grandes proporções foi implantada. Essa rede surgiu para atender a demanda por segurança nas comunicações oficiais no Rio de Janeiro, o qual optou pelo padrão Tetra para apoiar as comunicações na 15ª edição dos jogos Pan-Americanos na capital carioca. Outros exemplos de grandes eventos em que os serviços de segurança pública utilizaram este sistema como padrão oficial para radiocomunicação são:

- 2008 - Jogos Olímpicos - Beijing - China;
- 2010 - Copa do Mundo - África do Sul;
- 2011 - Jogos Mundiais Militares - Brasil;
- 2013 - Copa das Confederações - Brasil;
- 2014 - Copa do Mundo - Brasil;
- 2016 - Jogos Olímpicos - Rio de Janeiro - Brasil (TANDCCA, 2016).

Tendo em vista se tratar de operações em ambientes com alta criticidade, os maiores aeroportos do mundo já contam com a tecnologia Tetra. No Brasil, a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), empresa pública responsável pela administração dos principais aeroportos brasileiros, visando atender às demandas dos grandes eventos acima listados, iniciou em 2011 a implantação de um sistema de radiocomunicação digital no padrão Tetra nos aeroportos das cidades que sediaram a Copa do Mundo de 2014 (MUNDOTETRA, 2016).

Uma das questões mais importantes numa tecnologia passa pela sua arquitetura, em que são implementadas diversas opções tomadas nas especificações dessa tecnologia permitindo a possibilidade de interligação com outros sistemas de comunicações. Neste aspecto, o Tetra apresenta-se como uma tecnologia perfeitamente integrável com outras tecnologias de comunicação. A figura 1 representa uma arquitetura básica de uma rede Tetra.

Figura 1- Arquitetura Tetra.



Fonte: Dunlop (2000). Nota: Adaptado pelo autor.

Resumindo, na arquitetura básica de uma rede Tetra, tem-se um Comutador Central – *Main Switching Centre* (MSC) responsável pela gestão de todos os Comutadores Locais - *Local Switching Centre* (LSC), permitindo a interligação do domínio Tetra com outros domínios através de seus respectivos *gateways*. Apesar de não estar representado na figura 1, o MSC encontra-se também ligado aos Sistemas de Gerenciamento da Rede - *Network Management* (NM), de Usuários - *Subscriber Management* (SM) e ao Centro de Operações e Manutenção - *Operations and Maintenance Centre* (OMC). Como se percebe, os comutadores LSC desempenham funções de interligação com uma ou várias Estações Base Transceptoras - *Base Transceiver Station* (BTS), conforme a abrangência da rede, e contém uma base de Dados Local - *Location Register* (LR) onde se encontra armazenada a informação relativa à localização dos diversos terminais móveis, de modo a ser possível o encaminhamento das chamadas.

A BTS provê as conexões na interface aérea com as estações, sendo constituída basicamente por equipamentos de radiofrequência (RF) como: transceptores, combinadores, multiacopladores, osciladores, amplificadores, *splitters* (ou divisores de potência), duplexadores e pelas antenas (DUNLOP, 2000).

A Infraestrutura de Gerenciamento e Comutação, *Switching and Management Infrastructure* (SwMI) é usada para classificar todo equipamento e subsistemas que compreendem uma rede Tetra, tais como a BTS, nó de comutação e controle, base de dados, *gateways*, torre ou mastro, cabos, estruturas de acomodação de cabos de RF, telemática, infraestrutura civil (abrigo ou *Shelter*), elétrica e de climatização. A SwMI também é análoga à definição de Estação Rádio Base (ERB) ou Site Celular dos sistemas de telefonia móvel celular.

As características da interface aérea são definidas segundo regras da ETSI EN 300.392-2 (2016), sendo que as principais estão resumidas no decorrer desta seção:

- a largura de banda do canal físico é de 25 kHz, distância entre portadoras de rádio;
- utiliza modulação $\pi/4$ *Differential Quadrature Phase Shift Keying* (DQPSK);
- o acesso rádio é via *Time Division Multiple Access* (TDMA) com 4 *Time Slot* (TS) ou 4 canais lógicos por portadora;
- a taxa de transmissão bruta por portadora de RF é de 36 Kbps (dados + controle);
- taxa de transmissão de dados igual a 7,2 Kbps por canal lógico. A utilização da taxa máxima depende do tipo de comunicação: chamadas de voz utilizam 1 canal (corresponde a 1 TS TDMA), as chamadas de dados podem utilizar até 4 canais simultaneamente;
- a taxa de transmissão líquida (*throughput*) máxima de dados do utilizador pode ser até 28,8 Kbps (4 x 7,2 Kbps) – corresponde a 4 TS;
- codificação de voz *Algorithmic Code Excited Linear Prediction* (ACELP) a 4,567Kbps.

O Tetra foi concebido originalmente na Europa para operar nas faixas de frequência de 150 a 900 MHz, e cada célula sendo alocada para um ou mais pares de portadoras (*uplink* e *downlink*) dependendo da demanda. A separação entre as frequências de *uplink* e *downlink*, utilizando a Duplexação por Divisão de Frequência, *Frequency Division Duplexing* (FDD) é de 10 MHz, na faixa de *Very High Frequency* (VHF) ou de 45 MHz (na faixa de UHF). Ressalta-se que o padrão Tetra original já sofreu atualizações, podendo existir

alocações de frequências diferentes do original, de acordo com as regulamentações do órgão gestor do espectro de frequência do país, que no caso do Brasil é a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel).

O Tetra, a exemplo da tecnologia de telefonia celular *Global System for Mobile* (GSM), utiliza o TDMA para acesso ao meio, o que reduz os custos dos equipamentos das estações base e dos móveis. Em termos de espectro, esta tecnologia tem uma excelente economia. Por exemplo, numa largura de banda de 200 kHz podem existir 32 canais Tetra. Na mesma largura de banda o GSM suporta apenas 8 canais.

O tradicional PMR analógico, por não utilizar TDMA, ou seja, permitindo apenas uma comunicação por portadora, possibilita para uma faixa de 200 KHz, apenas 8 canais físicos, com cada portadora tendo largura de banda igual a 25 kHz, ou 16 canais, para portadora com largura de faixa de 12,5 kHz. Esta comparação pode ser percebida por meio da figura 2.

Figura 2 – Comparativo da largura de banda usada em várias tecnologias.



Fonte: Santos (2005).

No sistema Troncalizado - *Trunking*, cada portadora de RF é dividida TS, ou canais lógicos, que são compartilhados e alocadas sob demanda, à medida que cada usuário requer acesso à rede, utilizando o TDMA. Permite, desta forma, maior capacidade de tráfego e eficiência espectral, pois uma frequência portadora pode ser utilizada simultaneamente, para dados e/ou voz, por mais de um usuário através de uma configuração de circuitos comutados.

Já os sistemas de rádio convencionais analógicos, ou seja, não troncalizados, usam apenas uma portadora de RF, para cada grupo de usuários. Nesse caso, não há possibilidade de diferentes usuários compartilharem a mesma frequência simultaneamente.

NORMAS E DEMAIS CRITÉRIOS LEGAIS PARA PROJETOS DE RADIOCOMUNICAÇÃO NA FAIXA DE FREQUÊNCIA UHF EM AEROPORTOS

Os projetos de radiocomunicação na faixa de frequência de UHF (300 MHz à 3GHz), no âmbito de aeroportos no Brasil devem ser elaborados em conformidade com diversos instrumentos legais. Dessa forma, no decorrer desta seção, iremos apresentar as principais normatizações exigidas.

- Lei nº 9.472, de julho de 1997 (Lei Geral das Telecomunicações) – Anatel

Esta norma é de grande relevância para projetos de telecomunicações em geral, pois, entre as várias regras apresentadas, indica critérios necessários para o licenciamento de frequências, que é um dos requisitos básicos para elaboração de projetos de radiocomunicação para posterior obtenção da licença de funcionamento da estação de telecomunicação. As estações (sendo elas portáteis, fixas ou móveis veiculares) devem ser licenciadas e os equipamentos de radiocomunicação, incluindo os sistemas irradiantes, devem possuir certificação expedida ou aceita pela Anatel, de acordo com a regulamentação vigente. Outro fator importante a ser relatado é em relação às taxas cobradas pela Anatel visando à concessão, permissão ou autorização para a exploração de serviços de telecomunicações e de uso de radiofrequência. Estas taxas constituem o produto da arrecadação do Fundo de Fiscalização das Telecomunicações (Fistel).

- Norma 13/97, aprovada pela Portaria Nº 455, de 18 de setembro de 1997, do Ministério das Comunicações

Esta norma tem por objetivo estabelecer as condições aplicáveis à outorga de autorização e de permissão para exploração de Serviço Limitado, bem como disciplinar o relacionamento entre outorgante e outorgado, dispondo sobre as condições de execução e de exploração do Serviço. Este instrumento legal é de grande relevância para o presente trabalho, pois o Sistema de Radiocomunicação Digital na faixa de frequência em UHF se enquadra em um dos tipos do Serviço Limitado que é o Serviço Limitado Privado (SLP) na submodalidade de Serviço Limitado Móvel Privado (SLMP). O SLMP define-se como: Serviço móvel, não aberto à correspondência pública, destinado ao uso próprio do executante, que utiliza sistema de radiocomunicação basicamente para operações do tipo despacho nas faixas de radiofrequências de 460, 800 e 900 MHz. A autorizada ou a permissionária, para fins de informação, antes de dar início à instalação ou alteração de características técnicas de estação de telecomunicações, deverá dar conhecimento ao Ministério das Comunicações, com, pelo menos, trinta dias de antecedência, do resumo do projeto em formulários padronizados, devidamente preenchidos e assinados por profissional habilitado, acompanhado de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) e de qualquer outro documento exigido em norma complementar.

- Resolução n.º 303, de 2 de julho de 2002 – Anatel
- Este regulamento tem por objetivo estabelecer limites para a exposição humana a campos

elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de radiofrequências entre 9kHz e 300GHz, associados à operação de estações transmissoras de radiocomunicação de serviços de telecomunicações, bem como definir métodos de avaliação e procedimentos a serem observados quando do licenciamento de estações de radiocomunicação, no que diz respeito a aspectos relacionados à exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na referida faixa de radiofrequências. A resolução apresenta as condições de cálculos para que o engenheiro habilitado, responsável pela elaboração do projeto, gere o Relatório de Conformidade para cada estação fixa e base a fim de estabelecer os critérios para possibilitar a proteção radioelétrica. O projeto de infraestrutura dos sistemas irradiantes deverá se basear neste relatório a fim de estabelecer as distâncias mínimas que deverão ser respeitadas, entre o elemento irradiante (antena) e o usuário do sistema. O Relatório de Conformidade deve ser mantido, na estação, por seu responsável, para apresentação sempre que requisitado pela Anatel e conter, necessariamente:

1. a memória de cálculo dos campos eletromagnéticos produzidos pelas estações, utilizando-se modelos de propagação conhecidos ou os métodos empregados e resultados das medições utilizadas, quando necessárias, para demonstrar o atendimento aos limites de exposição estabelecidos;
2. indicação clara e conclusiva de que o funcionamento da estação, nas condições de sua avaliação, atende ao estabelecido neste regulamento.

- Resolução nº628, de 6 de dezembro de 2013 – Anatel

Aprova a alteração do Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências, na Faixa de 450 MHz a 470 MHz, pelo Serviço Limitado Privado no Âmbito dos Aeroportos Nacionais. A Anatel somente procederá o licenciamento das estações quando o interessado apresentar documento fornecido pela Infraero, encaminhando parecer favorável à implantação do projeto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea). A canalização a ser utilizada em projetos de radiocomunicação em aeroportos é apresentada nesta resolução.

- Normas internas da empresa administradora do aeroporto

Salientamos que, além das normatizações apresentadas, o engenheiro projetista de sistema de radiocomunicação deve considerar as normas internas que disciplinam este tipo de serviço em âmbito aeroportuário, o projetista

deverá questionar a área competente se há normatização interna para elaboração de projetos de radiocomunicação.

- Portaria nº 256/GC5, de 13 de maio de 2011 - Ministério de Estado da Aeronáutica

Projetos de radiocomunicação com a finalidade de suportar suas antenas requerem uma infraestrutura de torres, mastros e outros elementos que possuem elevadas alturas, este fator tem alta criticidade em ambientes aeroportuários, não só no limite patrimonial dos aeroportos, como também em suas adjacências. Portanto, há necessidade de uma regra que defina os limites de alturas das estruturas de radiocomunicação e estabeleça outras regras de balizamento noturno e diurno, e demais diretrizes, a fim de possibilitar a proteção do tráfego aéreo. A responsável pela definição de tais condicionantes é a Portaria 256/GC5/2011, daí sua relevância na elaboração de projetos com estas características. Destaca-se que projetos que requerem estruturas com determinadas alturas, tendo em vista o local de instalação, conforme estabelecidos nesta portaria, precisam ser submetidos à aprovação do Comando Aéreo Regional da Aeronáutica (Comar) da região de implantação do projeto, somente após a aprovação do projeto, será possível instalar a estrutura.

PARÂMETROS TÉCNICOS BÁSICOS

O objetivo desta seção é apresentar uma sugestão de estrutura de projeto executivo de sistema de radiocomunicação para sítios aeroportuários, contemplando os parâmetros técnicos mínimos exigidos e uma breve descrição dos requisitos que devem ser atendidos. A distribuição dos itens seguintes servirá como um modelo de diretriz para elaboração de projeto executivo. Neste trabalho, propomos a divisão da documentação do projeto em três cadernos: Memorial Descritivo, Cadernos de Representação Gráfica (Plantas) e Caderno de Especificações Técnicas (Datasheets).

MEMORIAL DESCRITIVO

Este documento visa apresentar globalmente o projeto, indicando as técnicas utilizadas para o dimensionamento do sistema, considerando tanto a parte lógica (configuração dos equipamentos) como a parte de infraestrutura física, constando elementos do projeto elétrico, estrutural, sistemas irradiantes e de telemática (cabearamento estruturado). A seguir apresentamos as partes integrantes do Memorial Descritivo proposto, bem como um resumo do conteúdo que deverá ser abordado por cada um dos tópicos.

a) **Objetivo do Projeto:** deverá apresentar de forma sucinta o que o projeto deverá contemplar como, por exemplo, qual a tecnologia utilizada, a arquitetura do sistema, o nível de sinal de cobertura que deverá ser atendido e as funcionalidades disponibilizadas pelo projeto.

b) **Site Survey:** antes de iniciar qualquer projeto de engenharia é preciso efetuar o levantamento de informações acerca do local onde será implantado o sistema. Esta etapa do projeto é conhecida como *Site Survey*, sendo um procedimento de extrema importância, pois todo o dimensionamento do projeto será baseado nos dados coletados, e caso estes sejam incorretos ou com quantidade insuficiente inviabilizará a elaboração do projeto. Segundo Mitsugo (2008), O *survey* é realizado em duas etapas:

1. Estudo teórico no escritório: antes de ir a campo recomenda-se planejar a vistoria, fazendo uso de mapas, plantas e fotos do local. Em casos nos quais já existam outros sistemas de telecomunicação e sendo possível o acesso prévio a documentação destes sistemas, pode auxiliar sobremaneira no desenvolvimento das atividades, agilizando o trabalho em campo. Outro quesito relevante é a realização de uma reunião com os responsáveis pela área gestora dos sistemas de rádio, para levantamento de informações como possíveis locais para a instalação dos elementos do sistema, área que deverá ser provida a cobertura do sinal *indoor* e *outdoor*, presença de outros sistemas irradiantes (potenciais fontes de interferência) e demais informações inerentes ao trabalho.

2. Levantamento de dados em campo: durante esta atividade deverão ser levantadas diversas informações como: disponibilidade de alimentação da rede elétrica, presença de tomadas elétricas em salas, quadros elétricos com disjuntores reservas ou com espaço para instalação de novo disjuntor, existência de energia secundária (*no-break* e/ou grupo gerador), sistemas de proteção de aterramento e de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), necessidade de sistemas de climatização nas salas que irão abrigar os equipamentos da ERB. Verificar a disponibilidade de tomadas de telecomunicações (dados) para acesso à rede local de computadores *Local Area Network* (LAN), presença de infraestrutura para acomodação de cabos como eletrocalhas e eletrodutos, existência de torres ou mastros que possam ser utilizados ou caso contrário a definição de local para instalação de nova estrutura para suporte das antenas.

c) **Descrição Geral do Sistema:** nesta seção, deverão ser descritas as características do sistema a ser instalado, informando o fabricante dos equipamentos integrantes da solução, ressaltando que este atende os padrões exigidos pelos órgãos normalizadores do padrão Tetra. Também deverão ser informadas as

funcionalidades que o sistema de radiocomunicação propiciará. Visando uma abordagem geral do sistema, também deverão ser apresentados os quantitativos básicos que serão disponibilizados no sistema, tais como: Número de canais Tetra (voz e controle) que deverão ser determinados por meio do estudo de tráfego, central de comutação, módulos de portadoras de frequência, terminais portáteis, fixos e móveis, consoles de despacho, interfaces com sistema de telefonia, *hotlines* (linha telefônica dedicada entre dois pontos específicos) ou com outros sistemas de radiocomunicação e sistema de gravação. Facilitando a visão geral do projeto, a arquitetura da rede deverá ser apresentada com auxílio de um diagrama de interligação, indicando as infraestruturas contempladas no projeto.

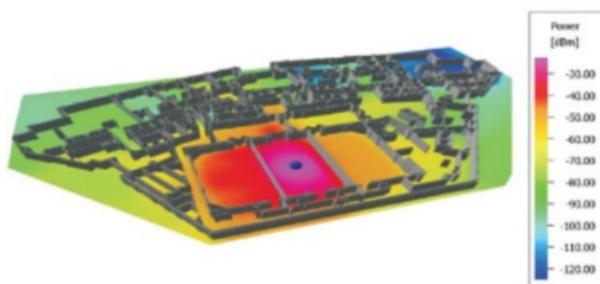
d) **Estudo de Dimensionamento de Tráfego:** segundo Dunlop (2000), as chamadas no sistema Tetra seguem a teoria das filas, ou seja, é prevista uma fila para as chamadas que não encontram o canal disponível. Neste caso, a requisição da chamada pode esperar algum tempo na fila até que um canal seja liberado. Uma chamada que se encontre na fila só será perdida quando extrapolar o tempo de espera "T", que é geralmente imposto pelo sistema de comutação. A determinação do número de canais e, conseqüentemente, do número de portadoras de rádio frequência, envolve outros parâmetros como o número de terminais a serem atendidos pela rede, duração média das chamadas, número de chamadas na hora de maior movimento e tempo médio de espera na fila. Como o dimensionamento de tráfego exige um estudo complexo, que extrapola o objetivo deste trabalho, não será abordado em detalhes.

e) **Projeto da Infraestrutura de Gerenciamento e Comutação - *Switching and Management Infrastructure* (SwMI):** o projeto da SwMI deverá contemplar todos os itens abordados nesta seção. Com a finalidade de exemplificar cada tipo de infraestrutura, serão apresentadas resumidamente as suas principais características. A SwMI ou também chamada de ERB é uma entidade da rede contendo todo o equipamento de rádio e de comutação utilizados para servir uma ou mais células. Inclui as funcionalidades de Controlador de Estações Rádio Base (BSC) e Transceptores de Estações Rádio Base (BTS). Quanto a instalação, a SwMI pode ser de dois tipos: *Greenfield*, instalados em terrenos, ou seja, no solo, utilizando torres e *Roof Top*, instalados em pavimentos de cobertura de edifícios, podendo fazer uso de torres ou mastros. A Infraero define em norma interna a SwMI (ou ERB) como Campo de Antenas - área específica do sítio aeroportuário que tem por finalidade concentrar todos os equipamentos de radiocomunicação, por exemplo: antenas, torres, abrigo (shelter de telecomunicações), bem como, os demais sistemas irradiantes que operam no complexo aeroportuário. Destaca-se que o Campo de Antenas, pode ser tanto do tipo *Greenfield* como *Roof Top*, para cada caso deverá respeitar as condicionantes acima apresentadas, no que for cabível para os diferentes tipos de instalação. A seguir apresentamos as principais infraestruturas que constituem um Campo de Antenas para sistema de radiocomunicação.

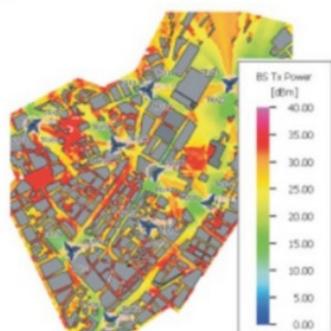
- **Shelter:** é uma estrutura que serve para abrigar equipamentos da estação base transceptora, os de comutação e controle, *gateways* e demais elementos que compõem a infraestrutura do sistema de radiocomunicação. Pode ser construído em alvenaria ou *container* metálico, a escolha da melhor opção deve levar em consideração fatores como disponibilidade de área para construção, agilidade de implantação, se a instalação será permanente ou provisória e o estudo do custo benefício.
 - **Torre Metálica Autoportante:** as torres autoportantes são indicadas para grandes carregamentos e alturas. Por serem autoportantes, não exigem grandes espaços para instalação uma vez que não são necessários estaios para sua fixação. Possuem seção transversal triangular ou quadrada, projetadas de acordo com as normas ABNT. A pintura da torre é realizada perpendicularmente ao eixo maior da estrutura, contrastando entre si, pelo emprego das cores vermelha e branca, ou laranja e branca, seguindo as recomendações da Portaria N°256 /GC5/2012 da Aeronáutica.
 - **Torre Metálica Estaiada:** a torre estaiada é a solução mais econômica por atingir grandes alturas e com elevada capacidade de carga, porém exige-se disponibilidade de uma grande área para sua instalação. Possui seção transversal triangular ou quadrada, estaiada com cordoalhas galvanizadas, projetada segundo as normas ABNT.
 - **Balizamento Noturno:** as torres devem ser fornecidas com os equipamentos de iluminação para balizamento noturno de segurança instalados em seu topo, instaladas de acordo com suas alturas, seguindo a Prática Telebrás 240-410-600 e a Portaria N°256/GC5 da Aeronáutica.
 - **Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA):** o sistema de radiocomunicação em aeroportos, por se tratar de um ambiente de operação crítica, não aceita interrupções por breves ou longos períodos de tempo, logo, são classificadas como estruturas de "nível de proteção I" pela ABNT NBR 5419:2005, portanto, o SPDA deve ser dimensionado em consonância com esta norma. O SPDA é composto basicamente de três subsistemas: Captor, Condutor de descida e Malha de aterramento.
 - **Mastro:** são estruturas metálicas verticais monotubulares ou treliçadas, de material metálico em aço galvanizado, instalados sobre coberturas, para suporte de antenas. Os projetos com utilização de mastros devem respeitar as mesmas orientações de projetos com torres no que diz respeito a aterramento e SPDA, balizamento e fundações. São utilizados principalmente em instalações do tipo *roof top*.
 - **Sistemas irradiantes da BTS:** o sistema irradiante é constituído pelo conjunto de antenas, cabos de RF, *tappers*, *splitters* e conectores constituindo um percurso guiado para a transmissão e recepção de sinais. As antenas constituem a parte essencial de todo sistema de comunicação uma vez que são responsáveis por receber e transmitir ondas eletromagnéticas. Além disso, servem para otimizar a radiação de energia nas direções de interesse. Por esta razão, elas adquirem diferentes formas: lineares, de abertura, impressas, refletoras, dentre outras.
- f) **Cálculos de link budgets:** o projeto deverá apresentar os cálculos de balanços de potências nos enlaces (*link budgets*) e, a partir destes, calcula-se o nível de sinal necessário para a comunicação entre os terminais e a BTS, tanto no enlace descendente (*downlink*) desde as estações rádio base para os terminais, como ascendente (*uplink*) dos terminais para a BTS. Este estudo nos dá informação sobre as perdas e ganhos para transmissão e recepção associadas aos elementos do sistema. Para o cálculo do nível do sinal mínimo necessário para o funcionamento adequado dos terminais com a infraestrutura, deverá ser levado em consideração, no mínimo os seguintes parâmetros: potência e frequência da BTS (usar a maior frequência das portadoras, pois é o pior caso, por sofrer maior atenuação), sensibilidade de recepção dos terminais (fixos, móveis e portáteis) e da BTS, atenuação dos cabos e conectores, ganho das antenas, atenuação de equipamentos do sistema irradiante (duplexores, combinadores, multiacopladores e *splitters*), perda no espaço livre e perdas por obstáculos presentes entre os enlaces.
- g) **Diagramas de simulação de cobertura de sinal:** o diagrama de cobertura é uma ferramenta que permite ao projetista visualizar de forma rápida possíveis áreas de sombra (desprovida de cobertura de sinal de RF) e aquelas em que o sinal se encontra satisfatório. Tais diagramas são gerados por *softwares* voltados à análise e predições de propagação de ondas eletromagnéticas. Para que os níveis de sinais do diagrama se aproximem ao máximo da realidade a ser encontrada após a instalação do sistema, minimizando os desvios e aumentando a predição do sistema, é necessário que o procedimento de representação do ambiente, seja executado com cuidado buscando retratar fielmente os obstáculos da região tanto em suas alturas quanto na identificação de seus elementos de constituição (madeira, vidro, estruturas metálicas, alvenaria, água, árvores, etc.), pois cada um deles provoca diferentes valores de atenuações no sinal de RF. Também é fundamental que o diagrama de cobertura traga consigo três elementos principais: uma legenda de cores, que possibilite identificar os diferentes níveis de

sinal; a indicação do ponto onde se encontra a BTS transmissora do sinal; e a escala do mapa no qual a cobertura foi plotada.

Figura 3 – Exemplos de diagramas de cobertura



a) Predição *indoor*.



b) Predição *outdoor*.

Fonte: Awe (2016).

Os diagramas de irradiação são predições e, portanto, não representam de forma exata os níveis de sinais de cobertura, porém caso forem corretamente utilizados, se aproximam muito da realidade. Somente na fase de testes, após a implantação do sistema, será possível empiricamente conhecer o verdadeiro nível de sinal nas diversas áreas e proceder com eventuais ajustes no projeto, tais como alteração de alturas, azimutes, tilts, potências de transmissão, antenas ou troca de cabos a fim de atingir o nível de cobertura almejado.

h) **Projeto de Estações Fixas:** as estações fixas podem prover uma maior disponibilidade na operação, quando comparada aos terminais portáteis, pois podem ser projetadas com uso de fontes redundantes de energia como *no-break* e grupo motor gerador, não sendo necessárias pausas para recarga de baterias. Nessas estações, a potência de transmissão também é maior o que possibilita a cobertura de regiões mais distantes da BTS. Tendo em vista os recursos disponibilizados pelas estações fixas, estas se adequam à operação em ambientes mais críticos no quesito de segurança. Em projetos de elementos irradiantes para estações fixas utilizamos tanto antenas omnidirecionais como direcionais e a escolha depende dos requisitos de projeto.

i) **Projeto de Estações Móveis Veiculares:** a estação móvel veicular deve se adequar ao ambiente interno para não prejudicar o funcionamento dos demais equipamentos do veículo. O melhor tipo de instalação deve levar em consideração a necessida-

de de recursos que evitem problemas ocasionados por possíveis fontes de ruídos de ignição e outros fatores externos que podem atrapalhar o funcionamento da estação móvel. Deve-se também atentar para não ultrapassar o raio de curvatura mínimo do cabo coaxial, especificado pelo fabricante, evitando perdas de sinal.

j) **Projeto das Consoles de Despacho:** as Consoles de Despacho, devido a sua importância no monitoramento de controle de chamadas além de todas as funcionalidades de monitoramento, representam o elemento central de operação da rede de radiocomunicação do aeroporto. O projeto para atender a console deverá contemplar sistema de redundância de alimentação elétrica (*no-break* e grupo motor gerador), ponto de interligação com a rede LAN do aeroporto para permitir a comunicação via rede de telemática com a SwMI e, consequentemente, acesso a todas as funcionalidades da rede. Como critério de disponibilidade do serviço de sistema de radiocomunicação, deverá ser instalado uma estação fixa como redundância. Tal requisito é necessário, pois na eventualidade de falha na rede LAN e, portanto, interrupção da comunicação entre a console de despacho e a rede de radiocomunicação, haverá a estação fixa para manter as comunicações, tendo em vista que a estação fixa comunica-se com o sistema de radiocomunicação somente pela interface aérea, logo não sofrendo impactos com falhas da LAN.

k) **Plano de Numeração e Endereçamento - Internet Protocol (IP):** o plano de numeração de uma rede Tetra consiste em determinar para cada terminal um diferente número de *Short Subscriber Identity* (SSI). Os demais parâmetros de MCC e MNC da mesma rede serão os mesmos para todos os terminais da SwMI. Portanto, para chamar um único terminal da rede, bastará acionar seu SSI. Para criar o plano de numeração é recomendado primeiro elaborar o plano de alocação de frotas. Trata-se de identificar as diferentes frotas ou grupos de usuários que vão pertencer a sub-redes Tetra dentro da rede global. Desta forma, entre os terminais desses grupos podem ser definidos diferentes características e parâmetros, além de estabelecer prioridades de chamada e possibilidade de realizar comunicações entre grupos diferentes ou não. Todas estas funções devem ser definidas com o pessoal técnico responsável pelo sistema de radiocomunicação do aeroporto antes de começar a execução do serviço da nova rede Tetra. Toda a rede se administra e comunica seus equipamentos de controle de rede através de uma rede IP. Logo, deverá ser atribuído um número IP ao LSC e outro para o LSC secundário (ou de redundância). Além do LSC, deverão ser atribuídos diferentes números IP's para os seguintes elementos da rede: consoles de despacho, módulo de portadoras de frequências da BTS, *switches* (responsáveis pela conexão da rede Tetra com a rede LAN do aeroporto), servidor de gravação, placa de interface do LSC com a rede Ethernet, placa de interconexão do LSC à Central Telefônica do aeroporto e para o servidor onde se instala o sistema de gerenciamento da rede Tetra.

l) Projetos do Sistema de Informações Técnicas para Administração das Radiocomunicações (Sitar):

o processo de planejamento de frequências é fundamental em qualquer projeto de telecomunicações. É dever do engenheiro responsável pelo projeto buscar todas as informações normativas junto a Anatel, conforme já apresentado neste artigo, a fim de resguardar o uso da frequência e garantir que estas estejam adequadas ao serviço de comunicação a ser implantado. Muitas vezes estes normativos restringem a Potência Máxima Efetivamente Irradiada - *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), pelos equipamentos de rádios, evitando interferências em canais adjacentes ou em outros sistemas. O engenheiro projetista deverá, com o auxílio de um analisador de espectro fazer uma varredura nos canais de frequências candidatos ao projeto no local onde será implantado o sistema. O tempo de varredura deverá ser de no mínimo 24h ininterruptas, a fim de possibilitar a análise do espectro de frequências local. Em caso de as frequências estarem livres de interferência, o engenheiro deverá solicitar a autorização para uso destas frequências à empresa administradora do aeroporto e também do Decea. Após a obtenção das aprovações, o engenheiro deverá realizar o auto cadastramento do projeto na Anatel pelo Stel, a fim de obter a outorga das frequências e, conseqüentemente, o licenciamento das estações de rádio escopo do projeto.

m) **Plano de Frequências:** após definidas todas as frequências a serem utilizadas no projeto, seguindo o procedimento apresentado no projeto do Sitar, deverá ser atribuída um par de frequências (ou canais da Resolução Nº 628/2013 - Anatel) para cada módulo de portadoras da BTS. Caso haja placas de interfaces com outros sistemas de radiocomunicação, para cada interface também deverá ser atribuída um par de frequências. Destaca-se que há necessidade de duas frequências (uma *uplink* e outra para *downlink*) para o Modo de Operação Troncalizado - *Operation Mode Trunking* (TMO) que trabalha em *half-duplex* e em casos da funcionalidade de chamadas telefônicas ou chamadas individuais por rádio em modo *full-duplex*. Porém, para a Operação em Modo Direto - *Direct Mode Operation* (DMO), há exigência de transmissão do tipo *simplex*, que requer apenas uma frequência tanto para transmissão como na recepção. Portanto, para um canal da resolução Nº 628/2013 - Anatel permite-se duas chamadas em DMO, ou seja, uma para cada frequência. Cada par de frequências no modo TMO fornece quatro canais lógicos para *uplink* e quatro para *downlink*, sendo um de controle e os outros três restantes podendo ser de voz ou dados, sendo alocados dinamicamente pelo sistema de comutação, conforme já mencionado neste trabalho. Saliencia-se ainda que o número de frequências e, conseqüentemente, o número de canais necessários para atender o sistema é determinado no cálculo de dimensionamento de tráfego.

n) **Projeto de Aterramento:** o projeto deverá contemplar sistema de aterramento nos locais de instalação de estações fixas de console de despacho e também no shelter, a fim de possibilitar a proteção contra surtos oriundos da rede elétrica, aos equipamentos e as pessoas que trabalham nestes ambientes. O projeto de-

verá seguir as diretrizes estabelecidas na norma ABNT NBR 5410/2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão. O projeto deverá ser elaborado por engenheiro habilitado, sendo também necessária a apresentação da ART expedida pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (Crea). Em caso de instalação de equipamentos em áreas onde já exista sistema de aterramento, deverão ser realizados testes, com equipamentos certificados e calibrados, para verificar se o aterramento se encontra em boas condições. Um relatório deverá ser gerado apresentando os resultados dos testes.

o) **Lista dos Materiais a Serem Instalados:** deverá ser apresentada uma lista de todos os materiais necessários para a instalação do sistema de radiocomunicação. Esta informação é de extrema importância a fim de permitir o cálculo dos gastos com materiais e no procedimento de aceitação do sistema possibilitando verificar se todos os quantitativos foram realmente instalados.

p) **Taxa de Falha dos Equipamentos e Dimensionamento de Sobressalentes:** o dimensionamento de unidades sobressalentes é um item fundamental e tão importante quanto o próprio dimensionamento do sistema, pois permitirá o desempenho e disponibilidade dentro dos padrões exigidos. Uma quantidade insuficiente de sobressalentes e não compatível com as dimensões da rede pode comprometer seu desempenho, enquanto uma quantidade excessiva, por outro lado, vai encarecer o custo total do projeto desnecessariamente (MITSUGO, 2008). A quantidade de sobressalentes é dimensionada de acordo com parâmetros, como Índice e Falhas - *Failure Rate* (FR), Tempo de Falha - *Failure in Time* (FIT), Tempo Médio Entre Falhas - *Mean Time Between Failures* (MTBF), e Tempo Médio de Reparo - *Mean Time To Repair* (MTTR) sendo este o tempo médio existente entre a ocorrência de interrupção do sistema devido a uma falha e o momento de restabelecimento do sistema após reparação do elemento defeituoso. O MTTR depende diretamente da disponibilidade de sobressalentes. Quanto maior a segurança de previsão pretendida, maior o número de sobressalentes necessários, porém deve-se encontrar um compromisso entre segurança de previsão e custos envolvidos.

CADERNO DE PLANTAS

Plantas são por definição desenhos de representação gráfica horizontal, convencional e minuciosa de determinado local, terreno ou edifício que detalham todas as particularidades de um projeto.

Objetivando-se o detalhamento das instalações das infraestruturas do projeto, deverão ser elaboradas plantas baixas, em corte ou isométricas. O *layout* de instalação das estações, fixas, console de despacho, *shelter*, torre e/ou mastros, Central Telefônica, Salas Técnicas e demais áreas pertinentes ao projeto. O projeto também deve contemplar planta de localização de cada área de instalação dentro do sítio aeroportuário, plano de face (*by face*) dos *Racks* da BTS e LSC, quadros elétricos e da central telefônica, no caso de existência de interfaces telefônicas.

A fim de possibilitar uma visão sistêmica, facilitando o entendimento do cálculo de *link budget*, deverão ser representados nas plantas os diagramas unificáveis do sistema irradiante, tanto de *uplink* quanto de *downlink*. Também deverá constar nas plantas os diagramas de cobertura *indoor* e *outdoor* de toda área a ser atendida pelo projeto de radiocomunicação.

Outro tipo de representação gráfica de extrema importância que deve constar no projeto são os detalhes de instalação das antenas tanto da BTS quanto das estações fixas, indicando além dos suportes das antenas, estruturas para acomodação de cabos e todos os acessórios necessários para a instalação.

O Caderno de Plantas deverá possuir capa, indicando o tipo o local de implantação do projeto e também índice, relacionando todas as plantas pela codificação, tipo da planta e local do sítio aeroportuário. Objetivando-se a padronização, a codificação deverá seguir as regras de projetos de engenharia da empresa administradora do aeroporto. Todas as plantas deverão possuir carimbo, com campos indicando os dados dos engenheiros e desenhistas responsáveis pela elaboração do projeto, tipo de obra (reforma, implantação, ampliação, etc.), classe de projeto (Básico, Executivo, *As Built*, etc.), escala usada (caso o desenho não esteja em escala, as dimensões deverão ser cotadas indicando a unidade de medida), codificação, data da elaboração do documento, controle de revisões e demais informações pertinentes.

A NBR 6492/1994 sugere que sejam utilizados formatos de papel da série "A" com tamanho de formato máximo "A0" e mínimo de "A4" a fim de evitar problemas de manuseio, arquivamento e reprodução.

CADERNO DE MANUAIS TÉCNICOS DOS EQUIPAMENTOS E DATASHEET

Finalizando o conjunto de cadernos integrantes do projeto proposto, deverá ser apresentado o caderno contendo todos os manuais com a descrição técnica dos principais elementos do sistema, tais como: Equipamentos da BTS, da LSC, *gateways*, servidor de gravação, terminais portáteis, fixos e móveis veiculares, acessórios dos terminais, console de despacho, *no-breaks* etc.

Complementando o caderno de manuais, deverão ser apresentados os *datasheets* (especificações técnicas) de todos os itens que compõe a infraestrutura de terminais, equipamentos, sistemas irradiantes, cabos (radiofrequência, elétrica e telemática), estruturas de acomodação de cabos, aterramento, SPDA, climatização, obra civil, ferragens de torre e/ou mastro, suportes de antenas, entre outros.

CONCLUSÃO

Diante dos assuntos abordados neste artigo, obtivemos inicialmente o conhecimento básico da tecnologia de radiocomunicação digital Tetra, destacamos sua importância em radiocomunicação do tipo

PMR de operação crítica e apresentamos a infraestrutura básica, arquitetura e os principais utilizadores do sistema, entre eles os aeroportos.

Com todo embasamento conceitual do padrão Tetra, elencamos cada um dos dispositivos legais como leis, normas, resoluções e portarias requeridas para elaboração do projeto de radiocomunicação na faixa de frequência de UHF em ambiente aeroportuário. A relação das normas apresentadas é salutar para projetos deste gênero, pois, permite ao engenheiro projetista dar agilidade na execução de processos que normalmente não tenha tanto conhecimento, em razão de lidar prioritariamente com assuntos de âmbito da engenharia, porém estes trâmites legais são vitais ao projeto.

Para cada um dos cadernos técnicos, indicamos os parâmetros mínimos a serem adotados e conceitos de configuração, a fim de obter o nível de qualidade demandado para projeto com requisitos tão elevados como é o caso de redes PMR em aeroportos.

A documentação gerada através da estrutura proposta, além de auxiliar o engenheiro elaborador do projeto da área privada, também pode servir como subsídio para elaboração de Termos de Referência, em processos de licitação pública para a contratação de empresa para implantação de sistemas de radiocomunicação em aeroportos ou em outros ambientes, naquilo que seja pertinente.

Portanto, o presente artigo pode contribuir para sociedade como um todo, pois um projeto de engenharia de qualidade, como é o objetivo da estrutura sugerida, evita desperdícios e, conseqüentemente, gastos desnecessários em razão do mau dimensionamento do projeto. Assim, quando se tratar de obra pública, o recurso economizado pode ser aplicado em prol de outros serviços públicos, logo beneficiando a coletividade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410*: informação e documentação - instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. *NBR 5419*: informação e documentação - proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2005.

AWE. *Communications*. Disponível em: <<http://www.awe-communications.com/>> . Acesso em: 31 jul. 2016.

BRASIL. Portaria nº 256/GC5, de 13 de maio de 2011- Ministério da Defesa Comando da Aeronáutica. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <http://www.decea.gov.br/wp-content/uploads/2011/05/Portaria_256_GC5_de_13.05.2011_Atualizada_Port-271.pdf> Acesso em: 30 jul. 2016.

BRASIL. Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002 – Anatel. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 02 jul. 2002. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_federal/RESOLUCAO_ANATEL_303_2002.pdf> . Acesso em: 30 jul. 2016.

DUNLOP, J; GIRMA, D; IRVINE, J. *Digital mobile communications and the tetra system*. Glasgow: John Wiley Professio, 2000.

ETSI. *Private mobile radio*. Disponível em: <<http://www.etsi.org/technologiesclusters/technologies/digital-mobile-radio/private-mobile-radio>>. Acesso em: 29 out. 2016.

ETSI EN 300 392-2: *Terrestrial Trunked Radio (Tetra); Voice plus Data (V+D); Part. 2: Air Interface (AI)*. Disponível em: <http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300300_300399/30039202/02.03.02_60/en_30039202v020302p.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2016.

MITSUGO, E; SANCHES, A. *Projetos de sistemas rádio*. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008.

MUNDOTETRA. *O que é tetra?* Disponível em: <<http://mundoTetra.com/>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

SANTOS, L. *Sistema de gestão de frotas*. 2005. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia de Sistemas de Telecomunicações e Eletrônica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2005. Disponível em: <http://www.deetc.isel.ipl.pt/sistemastele/Projecto/2004_2005/GestFrotas/RelatorioLuis.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

TANDCCA. *Tetra standard*. Disponível em: <<http://www.tandcca.com/about/page/12039>>. Acesso em: 28 jul. 2016.