

Proposta de integração de sistemas para soluções de dados em sistema HF do Ministério da Defesa

Danilo Habermann¹, Fabbryccio Cardoso², Paulo Prandel³, Victor Bramigk¹ e José Lopes¹,

¹Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Campinas/São Paulo - Brasil

²Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPQD), Campinas/São Paulo - Brasil

³Centro de Desenvolvimento de Sistemas (CDS), Brasília/DF - Brasil

Resumo—Este artigo propõe uma integração de dois sistemas de comunicação em HF (alta frequência) do Ministério da Defesa: o Terminal Integrado de Dados (TID) e o Tráfego de Dados do Exército em HF (TDEx). A integração se beneficia da forma de onda HF do projeto RDS, que emprega tecnologia SCA para oferecer transmissão de dados e robustez contra interferências e variações ionosféricas. Também possibilita o roteamento de tráfego de correio eletrônico pelo TDEx, mesmo quando as estações de rádio HF não estão diretamente ao alcance umas das outras. O artigo descreve as características, funcionalidades e importância dos sistemas TID e TDEx, bem como os equipamentos e etapas necessários para implementar a proposta de integração. O artigo evidencia ainda o potencial dessa iniciativa para melhorar a eficiência e a capacidade das comunicações da RECAF com otimização de custos, utilizando recursos existentes e adicionando serviços de dados digitais.

Palavras-Chave—SCA, RECAF, TID, TDEx, rede rádio HF.

I. INTRODUÇÃO

As redes de rádio em alta frequência (HF – *High Frequency*), que operam na faixa de 3 a 30 MHz, são particularmente adequadas para a comunicação de longo alcance, graças à sua característica única de propagação por reflexão ionosférica [1], muitas vezes cobrindo continentes inteiros ou até mesmo atravessando oceanos. Adicionalmente, estas redes se beneficiam de uma infraestrutura descentralizada, dispensando a necessidade de uma rede complementar de backhaul para habilitar o acesso de rádio, como é o caso das redes celulares. Em contraste, as redes celulares exigem uma extensa rede de torres e estações base para cobrir grandes áreas geográficas, enquanto a comunicação em rádio HF pode ser estabelecida utilizando equipamentos relativamente simples e portáteis. Dada a combinação dessas características, e outros fatores, as redes HF têm o potencial de aumentar as capacidades de telecomunicações e de garantir as comunicações em cenários adversos onde outras tecnologias podem falhar [2] [3].

Devido a capacidade de ser estabelecida sem a necessidade de uma infraestrutura extensa e mesmo não permitindo um alto tráfego de dados, as redes HF possuem um papel estratégico nas comunicações militares. Neste contexto, as Forças Armadas brasileiras mantêm ativamente suas próprias redes de comunicação usando rádios HF. Além disso, o Ministério da Defesa (MD), por intermédio do Sistema Militar de Comando e Controle (SisMC²) [4], mantém uma rede conjunta chamada Rede Estratégica de Comunicações em Alta Frequência (RECAF) [5] para coordenar as ações das Forças. A missão da RECAF é estabelecer enlaces em HF para conectar estações e facilitar o fluxo de dados entre os usuários do sistema.

Dentre os rádios HF empregados pela RECAF, muitos ainda funcionam com tecnologias que foram superadas. No entanto, esses rádios ainda se encontram em plenas condições de operação. Dado que os rádios HF representam um investimento significativo, a opção de realizar um upgrade no sistema pode ser bastante valiosa. Nesse sentido, em 2019, por solicitação do MD, o CTEx, em parceria com o CPQD, iniciou o projeto Terminal Integrado de Dados em HF (TID-HF) com o objetivo de capacitar rádios legados HF a transmitir dados. Esse projeto, concluído em março de 2023, permitiu a troca de mensagens digitais em HF usando rádios HF legados, estabelecendo enlaces diretos entre os rádios. Entretanto, esse sistema ainda não possuía a capacidade de realizar o roteamento de tráfego entre estações.

Em junho de 2023, o Centro de Desenvolvimento de Sistemas do Exército (CDS) implantou o software Tráfego de Dados do Exército em HF (TDEx-HF) em toda a rede rádio fixa em HF do Exército. O TDEx-HF, desenvolvido pelo CDS, opera na camada de aplicação da rede, utilizando os protocolos POP e SMTP, sendo capaz de realizar o roteamento das mensagens, desde que tenha conhecimento da topologia da rede.

Portanto, entende-se que a integração desses dois sistemas, TID-HF e TDEx-HF, possibilita a formação de uma rede de rádio em HF composta por rádios legados. Esta rede permite o tráfego de mensagens entre todos os membros, independentemente da topologia, ampliando efetivamente a cobertura com a possibilidade de roteamento. A título de ilustração, considerem-se três rádios, A, B e C, onde A e B estão conectados entre si, assim como B e C, mas A e C não possuem conexão direta. Nesse caso, por meio do TID-HF, Os rádios A e B, bem como os rádios B e C poderiam trocar mensagens digitais. Contudo, apenas com o uso do TDEx integrado ao TID-HF seria possível estabelecer a comunicação entre A e C.

Considerando uma rede HF com postos de rádio espalhados por todo o território nacional, seria possível, por exemplo, uma organização militar (OM) de Porto Alegre (RS) trocar mensagens com uma OM de Manaus (AM) por meio de um enlace de rádio estabelecido entre Porto Alegre-São Paulo, São Paulo-Brasília, Brasília-Manaus.

O principal objetivo deste artigo é apresentar os detalhes técnicos de uma integração entre TID-HF e TDEx-HF, com a finalidade de permitir que rádios legados, inicialmente capazes apenas de transmitir voz analógica, possam transmitir dados e se conectar a uma rede com qualquer tipo de topologia. Um sistema dessa natureza pode trazer benefícios importantes à RECAF do Ministério da Defesa.

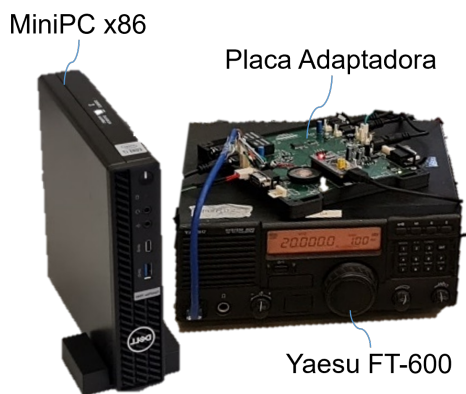


Fig. 1. Plataforma TID-HF com Rádio Yaesu FT-600, expondo placa adaptadora para rádios legados

Antes de abordar os detalhes técnicos dessa integração de sistemas, discutidos na Seção VI, este artigo apresenta os conceitos básicos do TID-HF na Seção II. A forma de onda utilizada pelo TID-HF é desenvolvida no âmbito do Projeto Rádio Definido por Software e é descrita na Seção III. Os serviços disponibilizados ao usuário do TID-HF são apresentados na Seção IV. As principais características do TEDx-HF são apresentadas na Seção V. A Seção VI detalha as atividades técnicas necessárias para a integração entre TID-HF e TDEx. Por fim, na Seção VII, são apresentadas as conclusões e as sugestões de trabalhos futuros.

II. TERMINAL INTEGRADO DE DADOS HF

O Terminal Integrado de Dados HF (TID-HF) se propõe como uma solução inovadora para comunicação de dados e voz na faixa de HF. Com o objetivo de reaproveitar rádios legados analógicos que não possuem capacidade de transmissão de dados, o projeto do TID-HF desenvolveu uma plataforma de hardware/software de baixo custo, que possibilita a execução de uma série de aplicações em HF, tais como Mensagens Curtas, Mensagens de e-Mail, Chat e Transferência de Arquivos. A inclusão de serviços de dados através das aplicações citadas possibilita revitalizar o uso desses equipamentos legados, estendendo, assim, sua vida operacional. A Fig. 1 ilustra a plataforma do TID-HF com um rádio Yaesu FT-600, destacando a placa adaptadora que compõe a solução. Nessa perspectiva, a adição do módulo TID-HF amplia as funcionalidades do Yaesu, permitindo que também transmita dados na faixa de HF.

Basicamente, o TID-HF embarca formas de onda SCA (Software Communication Architecture) para a faixa de HF, que foram desenvolvidas como parte do Programa RDS-Defesa [6] [7]. Este processo ocorre em uma plataforma de hardware x86 Linux de custo otimizado, tipicamente um Mini PC (NUC - Next Unit of Computing), com o intuito de reutilizar rádios existentes através de uma placa adaptadora. Desta forma, a comunicação digital de dados e voz é habilitada, oferecendo ao usuário uma interface gráfica WEB de fácil usabilidade para acessar as aplicações, sem a necessidade de adquirir um novo equipamento de rádio ou uma plataforma dedicada a rádio definido por software. No caso do TID-HF, a "cabeça de RF" é proveniente de rádios HF legados, ainda em uso pelas Forças Armadas Brasileiras, como o TW 7000 da Datron, FT-600 da Yaesu e Micom 2 da Motorola.

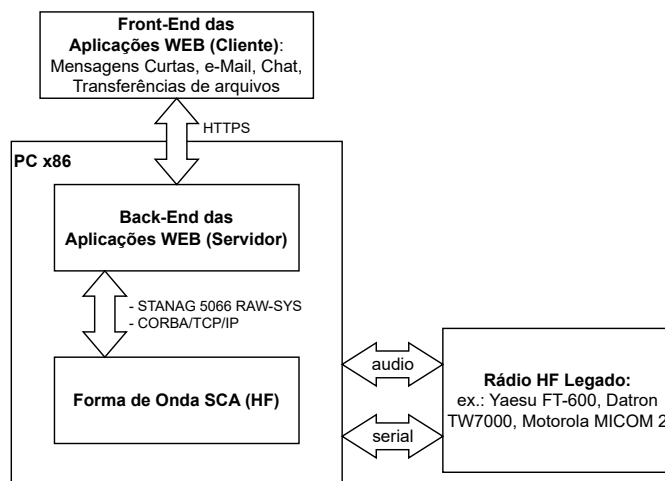


Fig. 2. Sistema de comunicação do TID-HF

A Fig. 2 apresenta o diagrama de blocos de alto nível da solução TID-HF. Neste contexto, a Forma de Onda SCA (HF) é implementada com base nos padrões MIL-STD-188-110C para o MODEM de comunicação de dados e MIL-STD-188-141C para o sistema automático de estabelecimento de enlace de HF (ALE). Além do MODEM e do ALE, a forma de onda integra uma Camada de Enlace, implementada por meio da pilha de protocolos do padrão STANAG 5066. O TID-HF ainda disponibiliza aplicações WEB com serviços de dados, contando com um Back-End que implementa uma Camada de Adaptação para as aplicações no Front-End do cliente WEB.

O TID-HF engloba uma série de funcionalidades. Além de possibilitar a transmissão de dados e voz em HF, a plataforma oferece uma interface web de fácil manuseio, proporcionando uma interação eficiente do usuário com o sistema. Com a capacidade de prolongar a vida útil dos rádios militares legados, o TID-HF também fornece suporte de treinamento aos operadores e facilita o planejamento de sistemas de comunicações em HF envolvendo voz e dados.

III. A FORMA DE ONDA HF DO PROJETO RDS

A forma de onda HF do projeto RDS adota a arquitetura de referência descrita pela Fig. 3. No topo dessa arquitetura estão as aplicações de Alta Frequência (HF), acessíveis por meio de um navegador web. As aplicações HF englobam mensagens AMD (Automatic Message Display), chat, transferência de arquivos e web-mail.

As aplicações HF fazem parte do escopo do Plano de Usuários, disponibilizando uma interface web que permite a interação do usuário com o rádio. Essa interface é implementada por um Front-End de aplicações WEB, como ilustrado na Fig. 2. Essas aplicações são suportadas por uma Camada de Adaptação, implementada como parte do Back-End. A camada de adaptação tem como objetivo otimizar a quantidade de bits que serão trafegados através de um enlace de comunicações de dados via HF. Para isso, ela faz uso de proxies HF, conforme exibido na camada de proxies da Fig. 3.

Os proxies HF podem operar de duas formas distintas, conforme definido pelo padrão STANAG 5066. O STANAG 5066 é um padrão da NATO (Organização do Tratado do Atlântico Norte) que define o protocolo para a comunicação de dados

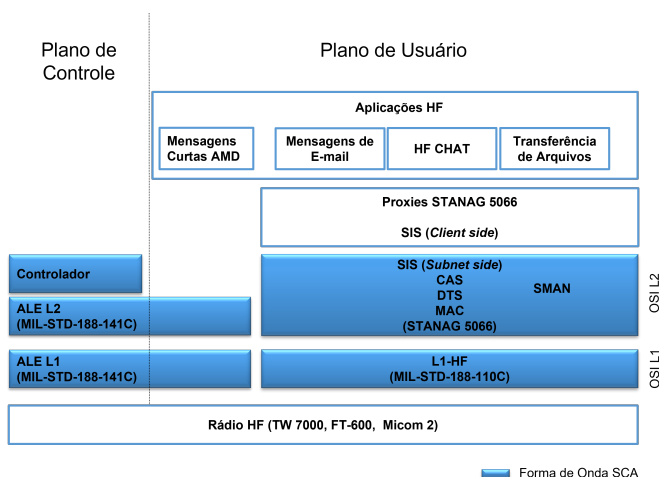


Fig. 3. Arquitetura de referência do TID-HF, destacando a forma de onda SCA e as perspectivas dos planos de controle e de usuário

por meio de rádio de HF. No esquema de encapsulamento, os pacotes de dados do usuário são diretamente encapsulados em pacotes de dados da rede HF. Já no esquema de adaptação, as informações pertinentes são extraídas dos pacotes dos usuários e transmitidas via HF de forma otimizada.

Descendo as camadas do plano de usuário, temos a camada de enlace, equivalente à camada OSI L2 (Link Layer no modelo OSI - Open Systems Interconnection). Essa camada implementa as funcionalidades das subcamadas SIS (Subnetwork Interface Sublayer), CAS (Connection Admission Sublayer), DTS (Data Transfer Sublayer), MAC (Medium Access Control) e SMAN (Standard Management), todas definidas pelo padrão STANAG 5066.

A SIS é responsável pelo mecanismo de priorização e filas, a CAS pela configuração e controle de conexão de enlace e a DTS pelos protocolos de comunicação de dados, suportando confirmação de recebimento (ACK) e retransmissão. O transporte entre os proxies da camada de adaptação e a SIS é feito via RAW-SIS, com a segmentação e remontagem de pacotes de acordo com um tamanho máximo pré-fixado (MTU - Maximum Transmission Unit).

Na base da pilha de protocolos do plano de usuários, encontra-se o MODEM, implementado pelo padrão MIL-STD-188-110C. Este padrão, estabelecido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, define as características técnicas e critérios para a interoperabilidade de modems de alta frequência (HF). Este padrão é reconhecido pela sua flexibilidade e robustez, sendo adequado para a transmissão de dados sob condições variáveis e, muitas vezes, adversas. O MIL-STD-188-110C possui um conjunto de modulações e codificações que podem ser adaptadas para otimizar o desempenho da transmissão, considerando as condições do canal de rádio em determinado momento.

No projeto RDS, o MODEM tem a opção de adaptação da modulação e da codificação disponível através do mecanismo Data Rate Control (DRC) da pilha STANAG 5066. Este mecanismo permite a modificação da taxa de dados utilizada de acordo com as condições do canal, otimizando a qualidade da transmissão e evitando falhas na comunicação. Quando a taxa de dados é ajustada para um valor mais baixo, isso pode resultar em uma melhor resistência contra as interferências e ruídos no canal de rádio, aumentando a probabilidade de

sucesso na recepção dos dados transmitidos. Por outro lado, quando as condições do canal são boas, o DRC pode ajustar a taxa de dados para um valor mais alto, aumentando a eficiência da transmissão ao enviar mais dados em menos tempo.

Na cadeia de recepção, o MODEM realiza funções mais complexas, como a sincronização do sinal para recuperar os instantes de amostragem e de início de quadro, operações de de-scrambling para recuperar a constelação original do sinal, equalização para compensar as degradações do canal de transmissão, e decodificação suave sobre as probabilidades de bit estimadas a partir da constelação do sinal. Como resultado, tem-se a recuperação do fluxo de bits originalmente transmitido.

O plano de controle do Projeto RDS tem como escopo a automatização do estabelecimento de enlace, permitindo que o usuário acesse serviços de comunicação apenas entrando com o endereço ou apelido (alias) do rádio destino, em vez de entrar com o canal. O plano de controle do ALE é responsável por encontrar e sintonizar o melhor canal para a comunicação de dados ou de voz.

A ALE L2 e a ALE L1 são componentes críticos do plano de controle e são especificados pelo padrão MIL-STD-188-141C. Este padrão, também estabelecido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, define os procedimentos de operação para o Estabelecimento Automático de Enlace (ALE - Automatic Link Establishment), que é uma tecnologia que permite a rádios de HF selecionar automaticamente a melhor frequência para a comunicação. O padrão MIL-STD-188-141C fornece diretrizes para a interoperabilidade entre sistemas ALE e detalha as funções de nível físico (L1) e de Controle de Acesso ao Meio (MAC - L2). A camada ALE L2 é implementada ao nível do MAC e executa a síntese de mensagens do protocolo ALE, disparada e configurada por um Controlador. Esta camada também realiza a análise de mensagens do protocolo ALE para tratamento de informações que alimentam os algoritmos ALE desse mesmo Controlador. Em outras palavras, a ALE L2 é a camada responsável pela tomada de decisões sobre quando e como os dados devem ser transmitidos, além de analisar a qualidade das mensagens recebidas.

A camada ALE L1, por outro lado, é implementada ao nível da camada física e lida com módulos funcionais que são executados em cadeia, envolvendo a codificação para correção de erros e modulação para transmissão de rádio, em conformidade com a norma MIL-STD-188-141C. Esta camada também inclui a cadeia de recepção, que envolve a detecção de sinais (demodulação) e decodificação com correção de erros. Em resumo, a ALE L1 é responsável por converter os bits de dados em sinais físicos para transmissão e vice-versa.

Finalmente, o Controlador desempenha um papel central no plano de controle. Ele centraliza a configuração de parâmetros das pilhas de protocolos dos planos de controle e de usuário, é responsável pela coleta de medições, pelo controle dos estados de transmissão/recepção e pelos algoritmos de estabelecimento de enlace e adaptação da transmissão. Também é responsável por gerenciar tabelas de dados e garantir o cumprimento dos requisitos de armazenamento em memória não volátil, quando aplicável. As funções do controlador envolvem seleção de canal, gerenciamento de

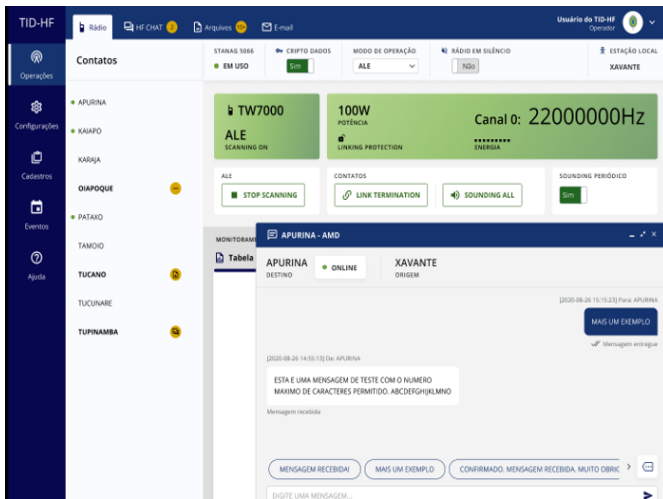


Fig. 4. Tela demonstrando troca de mensagens AMD

frequências, análise da qualidade do canal, monitoramento de ocupação/congestionamento e tratamento de medidas de desempenho do enlace para status do canal.

IV. SERVIÇOS DO TID-HF

O Terminal Integrado de Dados de Alta Frequência (TID-HF) proporciona uma variedade de serviços de voz e dados, oferecendo um leque de opções de comunicação para voz e dados. Os serviços de voz disponibilizados pelo TID-HF podem ser divididos em duas categorias principais:

- 1) Voz analógica através do próprio rádio legado em frequência fixa: Esse serviço permite a transmissão de voz usando a frequência pré-definida do rádio legado, sem a necessidade de qualquer mudança ou ajuste na frequência.
- 2) Voz analógica através do próprio rádio legado com estabelecimento de enlace através da seleção da melhor frequência entre várias disponíveis utilizando ALE (Automatic Link Establishment): Este serviço é mais dinâmico, permitindo que o rádio legado estabeleça um link de comunicação, selecionando automaticamente a melhor frequência disponível entre várias opções.
- 3) Uma evolução prevista para o TID-HF consiste da opção pela voz digital, empregando codificação em taxas de bit entre 700 e 3200 bps graças ao codificador CODEC2.

Com relação aos serviços de dados, o TID-HF oferece várias possibilidades, incluindo:

- 1) Remessa de mensagens curtas via AMD do ALE: Permite o envio de mensagens curtas utilizando a função AMD (Automatic Message Display) do ALE, como mostrado pela Fig. 4.
- 2) Transporte de dados via IP em frequência fixa através da STANAG 5066 e modem MIL-STD-188-110C: Esse serviço permite a transmissão de dados através do protocolo de internet (IP), utilizando a norma STANAG 5066 e o modem MIL-STD-188-110C.
- 3) Serviço de e-mail e mensagens curtas em frequência fixa: Similar ao serviço anterior, mas voltado especificamente para o envio de e-mails e mensagens curtas. O serviço é acessado pela aplicação do TID-HF no navegador WEB.

- 4) Serviço de chat e transferência de arquivos: Este serviço oferece a possibilidade de comunicação por meio de chats e a transferência de arquivos, tornando o TID-HF uma ferramenta poderosa para a troca de informações.

Além disso, todos esses serviços de dados podem ser utilizados com o estabelecimento de enlace através da seleção da melhor frequência entre várias disponíveis, utilizando a tecnologia ALE, proporcionando maior robustez e/ou eficiência na comunicação através do DRC (Data Rate Control). A solução de software do TID-HF inclui ainda uma interface intuitiva que permite ao usuário acessar esses serviços de voz e dados facilmente.. Esta interface pode ser acessada de forma segura (HTTPS) a partir de qualquer computador conectado à mesma rede local do TID-HF.

O TID-HF foi projetado para trabalhar em conjunto com equipamentos de rádio como o TW 7000 da Datron, o FT-600 da Yaesu e o MICOM 2 da Motorola. Esses dispositivos formam a base da planta de rádios legados das Forças Armadas Brasileiras que operam na faixa de HF. Uma placa adaptadora, equipada com firmware especializado, é utilizada para integração desses rádios via interface serial.

Para garantir a robustez e confiabilidade do sistema, o TID-HF passou por uma série de testes rigorosos. Estes incluíram testes funcionais e não funcionais, e testes de qualidade de sistema em ambiente de laboratório. Testes de campo também foram realizados entre estações instaladas no CTEX (Guaratiba, Rio de Janeiro – RJ) e CPQD (Campinas-SP), que estão a pelo menos 300 km de distância uma da outra. Os resultados desses testes validaram o funcionamento e o desempenho dos serviços oferecidos pelo TID-HF.

V. TDEX-HF

A plataforma Tráfego de Dados do Exército em HF (TDEX-HF) foi implementada em toda a Rede Rádio Fixa em HF (RRF-HF) do Exército em junho de 2023. Esta plataforma foi desenvolvida com o objetivo de substituir o atual Sistema de Tráfego de Dados (SISTRAD), representando uma evolução significativa do mesmo. Neste contexto, o TDEX-HF é uma aplicação presente em cada uma das estações de rádio da RRF, cujas funcionalidades incluem:

- Fornecer uma interface para a criação e recebimento de radiogramas, a unidade básica de mensagem trocada entre as organizações militares (OM) do Exército;
- Realizar o roteamento automático de radiogramas através das diferentes estações da rede de rádio.

O TDEX-HF opera na camada de Aplicação, sem desempenhar funções nas demais camadas como Rede e Enlace. As tarefas destas camadas são gerenciadas pelos próprios equipamentos de rádio das estações. A interação entre o TDEX-HF e esses equipamentos é efetuada através dos protocolos de e-mail POP (Post Office Protocol) e SMTP (Simple Mail Transfer Protocol). Portanto, para que o TDEX-HF realize suas funções de roteamento, é imprescindível que o sistema do equipamento de rádio disponha de um servidor de e-mail com os protocolos mencionados. O TDEX-HF, por sua vez, implementa um cliente de e-mail, responsável pelas atividades de envio e recebimento de radiogramas. A implementação dos protocolos relacionados à STANAG 5066 é incumbência do equipamento de rádio ou do sistema TID-HF/equipamento de rádio. A estrutura geral pode ser vista na Fig. 5.

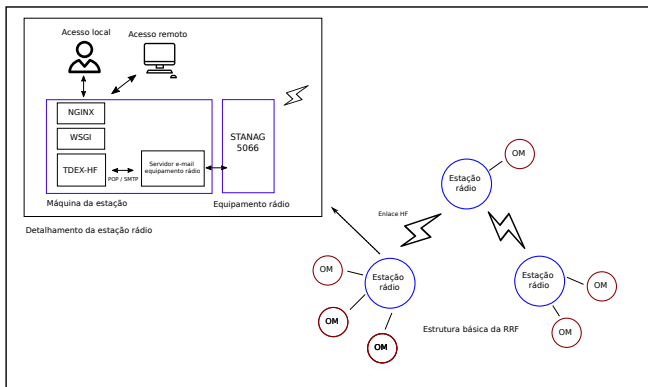


Fig. 5. Arquitetura do TDEX-HF

Para que o TDEX-HF possa realizar o roteamento das mensagens pela rede de rádio, é essencial que o sistema conheça a topologia da rede, especialmente o grafo que representa os diferentes enlaces entre as estações. Um algoritmo da plataforma é responsável por calcular a rota, com base na estação de origem e na estação de destino, sendo o resultado deste algoritmo a direção do próximo salto. Além do roteamento, o TDEX-HF realiza o agrupamento automático de várias mensagens em unidades denominadas "pacotes", com a finalidade de acumular radiogramas durante um certo período e enviá-los simultaneamente no próximo salto, otimizando assim o tráfego na rede. Esta função reduz a quantidade de transmissões necessárias, sendo crucial para a eficiência da rede, já que o acesso ao meio frequentemente leva mais tempo do que a própria transmissão de dados.

O TDEX-HF também permite o envio de radiogramas para múltiplos destinatários através de recursos de mala direta. Neste modo, uma OM pode transmitir centenas ou mesmo milhares de radiogramas que compartilham um texto-base comum. Este texto-base contém variáveis que são personalizadas para cada destinatário no momento da entrega. Para que isso ocorra, a mala direta é acompanhada por uma tabela que mapeia as variáveis para seus respectivos destinatários. Quando o cálculo das rotas para os próximos saltos da mala direta é realizado, o TDEX-HF otimiza novamente o tráfego na rede, selecionando apenas a porção da tabela referente a cada rota a ser seguida.

Entre as demais funcionalidades do TDEX-HF, destacam-se:

- Instalação via executável para Windows ou através de Docker (para qualquer plataforma);
- Gerenciamento de usuários e perfis;
- Interface para acesso direto pelas OMs;
- Otimização e controle do processo de entrega dos radiogramas para as OMs;
- Possibilidade de configurar diferentes rádios para diferentes rotas;
- Integração com outros serviços de e-mail para a comunicação entre estações e OMs.

VI. INTEGRAÇÃO TID-HF E TDEX

A integração entre o Terminal Integrado de Dados (TID) e o Tráfego de Dados do Exército em HF (TDEX) será abordada inicialmente por meio de uma prova de conceito (PoC), que objetiva testar uma rede fechada composta por três rádios, denominados aqui por RD1, RD2 e RD3. A PoC deve utilizar

as funcionalidades disponíveis nos sistemas TID e TDEX de forma complementar. Neste contexto, o TID deve funcionar com enlaces estabelecido pelo ALE ou em frequência fixa, além de ser capaz de efetuar comunicação por meio de AMD ou Stanag 5066, o que engloba o uso de recursos como HFChat, transmissão de arquivos por RCOP ou UDOP, e transmissão de e-mails ponto a ponto. O TDEX, por outro lado, deve enviar radiogramas simples ou mala direta através do TID e realizar corretamente o roteamento na rede de rádio. Os rádios RD1, RD2 e RD3, que compõem a rede, seguem esta configuração: RD1 comunica-se com RD2, e RD2 com RD3, conforme ilustrado pela Fig. 6. Para confirmar a integração correta dos sistemas, o rádio RD1 deve ser capaz de transmitir um radiograma simples para RD3 utilizando o rádio RD2 como intermediário da comunicação.

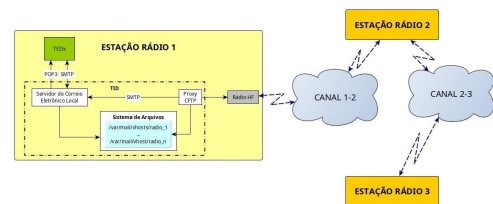


Fig. 6. Setup com três estações rádio usando TID e TDEX

O processo de integração entre TID e TDEX segue alguns passos específicos. O primeiro deles é a criação de um ambiente que possibilite a operação simultânea de ambos os softwares. Para isso, serão necessários três conjuntos compostos por um computador com o sistema operacional Ubuntu 18.04 e um rádio legado - que pode ser Yaseu, Micom2 ou TW7000 - além dos respectivos cabos e fontes de alimentação. Em cada computador, o software do TID deve ser instalado juntamente com dependências de softwares secundários necessários para seu funcionamento adequado. Paralelamente, o TDEX deve ser instalado em um container Docker em cada computador. O TID deve ser configurado para cada rádio incluindo o cadastramento dos contatos correspondentes. Por exemplo, na rede fechada com os rádios RD1, RD2 e RD3 mencionada previamente, o RD1 deve ter o contato de RD2, RD2 deve ter os contatos de RD1 e RD3, e RD3 deve ter o contato de RD2. Desta forma, o rádio RD2 está apto a realizar o roteamento dos radiogramas transmitidos entre os rádios RD1 e RD3.

Após a instalação do TID e do TDEX nos computadores, a estação de rádio utilizada pelo TID deve ser registrada no TDEX de cada computador. O registro deve incluir as portas 110 e 25, utilizadas pelos protocolos POP3 e SMTP, que devem ser as mesmas no software TID, além do endereço de e-mail da estação local e da estação rádio de contato. Uma vez concluído o registro das estações do TID, será possível confirmar no próprio TDEX que esse registro foi realizado corretamente.

Com os registros entre as plataformas corretamente configurados, o fluxo de mensagens deve ocorrer como mostrado pelo diagrama de sequência da Fig. 7. Neste exemplo, um radiograma simples é criado no TDEX e enviado da estação de rádio RD1 para a estação de rádio RD3:

- 1) A mensagem é composta no TDEX RD1;
- 2) O software do TDEX RD1, atuando como cliente de e-mail, converte a mensagem em um pacote e o envia por

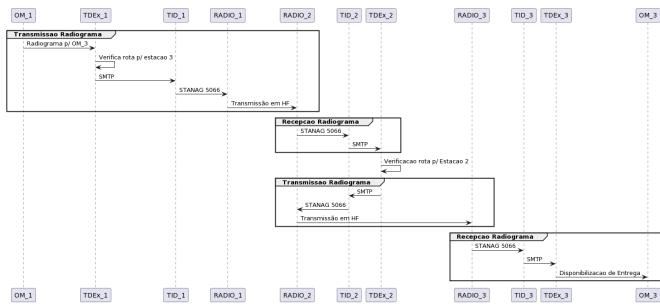


Fig. 7. Diagrama de seqüência da mensagem sendo enviada da estação rádio 1 para estação rádio 3, utilizando TID e TDEX

SMTP para o servidor de e-mail local da Estação RD1, que é parte integrante do TID-HF;

- 3) Antes de enviar o pacote para o Servidor de Email Local, o TDEX define quem será o próximo destinatário. Como o pacote deve ser enviado para RD3, porém RD1 só possui o contato de RD2, o TDEX informa que o próximo destino do pacote será RD2;
- 4) O software do TID processa o pacote para envio, verifica o destinatário e envia para o destino indicado pelo TDEX, ou seja, RD2;
- 5) O pacote de dados passa pelo processo de envio do TID, selecionando a melhor frequência por meio do ALE, estabelecendo um enlace entre os dois rádios e, em seguida, transmitindo o pacote. O pacote passa pela placa de adaptação e é transmitido pelo rádio legado (Yaesu, TW7000 ou Micom2);
- 6) O pacote chega na estação RD2, é recebido pelo rádio legado do RD2, passa pela placa de adaptação e é processado pelo software do TID, chegando ao Servidor de Correio Eletrônico local do RD2. Em seguida, por meio dos Protocolos POP3 ou SMTP, os dados são enviados para o Cliente WEB do Correio Eletrônico, que pode estar sendo acessado via navegador WEB no mesmo computador do TDEX RD2 ou em outro computador da mesma rede local;
- 7) O TDEX RD2 processa o pacote e verifica o destinatário. Como o destinatário não é RD2, mas sim o contato RD3, o TDEX recompõe o pacote e o encaminha para o Servidor de Correio Eletrônico via SMTP, indicando o novo destinatário como sendo o RD3;
- 8) O software TID da estação RD2 recebe o pacote no Servidor de Correio Eletrônico e processa o pacote. Verifica o novo destinatário como sendo o RD3, encerra o enlace estabelecido com RD1, utiliza o ALE para escolher a melhor frequência, estabelece um novo enlace com RD3, e envia o pacote;
- 9) O pacote passa pela placa de adaptação de RD2 e é transmitido pelo rádio legado RD2 (Yaesu, TW7000 ou Micom2);
- 10) O pacote chega no rádio RD3, passa pela placa de adaptação, é processado pelo TID, e chega ao Servidor de Email Local de RD3. Utilizando os Protocolos POP3 ou SMTP, o pacote é enviado para o Cliente de Email Local, no caso, o TDEX RD3;
- 11) O pacote é processado pelo TDEX, verifica que o destino está vinculado à estação 3, define qual a OM correta que deve receber o Radiograma e, finalmente, realiza a

entrega da mensagem para essa OM.

Portanto, a integração entre TID e TDEX permite o transporte de mensagens entre estações de rádio HF, empregando rádios legados, mesmo que essas estações não estejam no alcance uma da outra. Basta que elas possuam uma estação comunicante em comum, que possa rotear esse tráfego de email para a estação de destino. O desafio primordial desta integração é garantir a compatibilidade entre ambas as plataformas, assegurando a correta troca de informações para o envio do pacote e a identificação do destinatário entre o servidor de correio eletrônico usado no TID e o cliente de correio eletrônico do TDEX. É importante frisar que os rádios legados das estações RD1, RD2 e RD3 podem ser iguais ou diferentes.

VII. CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentada uma proposta de integração de dois sistemas de comunicação em HF do Ministério da Defesa: o TID e o TDEX. Essa proposta visa melhorar a eficiência e a capacidade da RECAF, que utiliza rádios HF legados para transmitir voz e dados a longas distâncias. A integração do TID envolve a revitalização dos rádios legados, empregando computadores e tecnologia de rádio definido por software baseada no SCA (Software Communication Architecture), possibilitando adicionar serviços de dados digitais, como Mensagens Curtas, Chat, Transferência de Arquivos e Correio Eletrônico (WEB Mail). Com a integração do TDEX, habilita-se o roteamento de tráfego de correio eletrônico na rede, possibilitando a comunicação de estações de rádio HF que não estão diretamente ao alcance umas das outras. Essa iniciativa se beneficia da forma de onda HF do projeto RDS, que oferece transmissão de dados com robustez contra interferências e variações ionosféricas. A proposta de integração apresentada neste artigo deve aumentar a disponibilidade e a confiabilidade das comunicações da RECAF, utilizando recursos existentes e adicionando serviços de dados digitais. Como trabalhos futuros, pretende-se realizar testes de campo para avaliar o desempenho da integração dos sistemas em diferentes cenários operacionais e ambientais.

REFERÊNCIAS

- [1] E. E. Johnson, "Hf radio mesh networks," in *MILCOM 2006 - 2006 IEEE Military Communications conference*, 2006, pp. 1–5.
- [2] G. S. Gill, "When all else fails: amateur radio becomes lifeline of communications during a disaster," in *International Journal of Emergency Services*, vol. 9, no. 2, 2020, pp. 109–121.
- [3] V. H. Cid, A. R. Mitz, and S. J. Arnesen, "Keeping communications flowing during large-scale disasters: Leveraging amateur radio innovations for disaster medicine," *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, vol. 12, no. 2, p. 257–264, 2018.
- [4] G. J. S. Acácio, "Integração das forças armadas brasileiras: uma análise da governança proporcionada pelos sistemas militares de comando e controle," 2018.
- [5] C. A. A. L. do Nascimento Abreu, "Sismc2 a importância da implementação do sistema de comunicações militares de alta frequência (hf) para a interoperabilidade e contingência após a criação do ministério da defesa," 2021.
- [6] H. V. Prado Filho, J. F. Galdino, and D. F. C. Moura, "Pesquisa e desenvolvimento de produtos de defesa: reflexões e fatos sobre o projeto rádio definido por software do ministério da defesa à luz do modelo de inovação em tríplex hélice," *Rio de Janeiro: RMCT*, vol. 34, no. 1, pp. 6–19, 2017.
- [7] M. G. C. Branco, F. A. Roelli, F. H. Silva, F. R. Pereira, G. C. Lima, M. A. Miquelino, R. P. d. H. Moreno, S. L. Ribeiro, D. F. C. Moura, and J. F. Galdino, "Rádio definido por software do ministério da defesa-visão geral das primeiras contribuições do cpqd," *Cadernos CPQD Tecnologia*, vol. 10, pp. 9–16, 2014.