

Ferramenta de predição de cobertura para planejamento de comunicações táticas V/UHF

Maurício Henrique Costa Dias¹, Fillipe Machado Pinto Napolitano², Arnaud Corrêa da Silveira²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ), Rio de Janeiro/RJ – Brasil

²Centro Tecnológico do Exército (CTEx), Rio de Janeiro/RJ – Brasil

Resumo – No contexto das comunicações táticas terrestres em V/UHF, o planejamento de operações se torna mais eficiente quando dispõe de ferramentas de predição de cobertura radioelétrica. Em especial, com a crescente capacidade computacional disponível nos equipamentos de comunicações táticas, é pertinente se pensar em portar tal funcionalidade para um módulo compacto dedicado, ou mesmo para o próprio rádio, se definido por *software*. Este artigo apresenta uma ferramenta de predição de cobertura desenvolvida como prova de conceito no escopo do futuro Planejador de Missões do RDS-Defesa. Três modelos foram implementados: Okumura-Hata; ITU-R 1546-5; e ITU-R 1812-4. As informações altimétricas do terreno são extraídas de mapas SRTM. Há ainda um bloco de análise de obstrução de linha de visada. Um estudo de caso em cenário tático é apresentado, argumentando sobre a importância de dar ao planejador opções de modelos de predição com características distintas de exatidão e rapidez de cálculo.

Palavras-Chave – Propagação de Ondas Eletromagnéticas, Rádio Definido por *Software*, Sistemas V/UHF.

I. INTRODUÇÃO

No contexto das comunicações táticas terrestres, as bandas de VHF e UHF são utilizadas para transmissão de voz e dados via rádio em diferentes escalões de comando e controle e em diferentes plataformas, da veicular à portátil de mão. Um exemplo de família de equipamentos em desenvolvimento voltada para essa aplicação é a do Rádio Definido por *Software* de Defesa (RDS-Defesa), que prevê em seu primeiro ciclo a entrega da versão veicular, com capacidade de operação de 2 a 512 MHz com potência de até 50 W [1]. Esse programa de P&D é controlado pelo Ministério da Defesa brasileiro (MD), conta com recursos orçamentários do próprio MD, do Exército Brasileiro (EB) e da agência brasileira Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), e é conduzido desde 2012 pelo Centro Tecnológico do Exército (CTEx), com a participação de integrantes das 3 Forças Armadas e de empresas parceiras contratadas. Há requisitos operacionais conjuntos que ajudaram a definir o programa [2], assim como requisitos técnicos de sistemas que podem vir a utilizar o RDS-Defesa como meio rádio, tais como o sistema de comando e controle (C2) do blindado Guarani, por exemplo [3].

A operação e programação do RDS-Defesa é feita a partir de um terminal remoto chamado de Módulo de Interface de Interação (MII), que dispõe de capacidade de processamento adequada para tal. Essa disponibilidade computacional local do MII pode ser aproveitada para prover ao operador do RDS-Defesa funções complementares. Em efeito, a equipe

técnica atual do programa RDS-Defesa tem como uma de suas frentes de trabalho a busca por tais funcionalidades adicionais, que virão a compor o que foi chamado de “Planejador de Missões”.

Uma função de potencial implementação no Planejador de Missões é a análise de cobertura radioelétrica, que se baseia em modelos de perda de propagação (ou de percurso) para prever a distribuição de campo eletromagnético ao redor de uma antena transmissora e, conseqüentemente, avaliar distâncias máximas de alcance do sistema. A exatidão das predições geradas por esses modelos depende dos dados disponíveis sobre o sistema e a região de análise.

Esse tipo de análise é comum no planejamento de sistemas de comunicações por rádio de modo geral [4]-[7]. Há ferramentas de apoio diversas para isso, algumas mais simples e gratuitas, outras mais sofisticadas e de acesso pago, em especial as voltadas para aplicações comerciais específicas, como sistemas de telefonia celular ou redes sem fio. Há algumas inclusive voltadas para o segmento militar, como em [8], por exemplo, cujo desenvolvedor também oferece uma solução integrada para o cenário tático, que compreende um computador portátil com mapas de terreno e algoritmos voltados para predição de cobertura, busca de pontos de transmissão mais apropriados e outras funcionalidades de apoio ao oficial de comunicações ou equivalente [9].

Este artigo tem por objetivo descrever uma ferramenta de predição de cobertura radioelétrica para planejamento de sistemas de comunicações táticas nas bandas de VHF e UHF, desenvolvida como prova de conceito no escopo do Planejador de Missões do RDS-Defesa. Os algoritmos foram escritos em MATLAB[®] [10] e utilizam seu modo de interface gráfica de usuário. Há uma janela para análise de obstrução da linha de visada e outra para análise de cobertura ponto-área, com três opções de modelos de propagação: Okumura-Hata [11]; ITU-R P.1546-5 [12]; e ITU-R P.1812-4 [13]. São utilizadas, ainda, bases de altimetria de terreno SRTM [14] como dados de entrada da ferramenta. Como resultado, apresenta-se um estudo de caso hipotético do uso da ferramenta, discutindo as diferenças entre as predições dos modelos, e destacando a importância dessa diversidade de escolha para o planejador tático.

A seção II descreve resumidamente os modelos de predição considerados. Na seção seguinte, a ferramenta desenvolvida é apresentada. Um estudo de caso exemplifica o uso do *software* para planejamento de um sistema tático de rádio na seção IV, destacando as diferenças entre as predições dos modelos disponíveis. A seção V apresenta as considerações finais do artigo.

II. MODELOS DE PROPAGAÇÃO PARA SISTEMAS V/UHF

M. H. C. Dias, mauricio.dias@cefet-rj.br; F. M. P. Napolitano, napolitano.fillipe@eb.mil.br; A. C. Silveira, silveira.arnaud@eb.mil.br.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FINEP (convênio FINEP-FAPEB n° 01.13.0369.00).

Na concepção do módulo principal da ferramenta, o de análise de cobertura, foram escolhidos 3 modelos ponto-área com características distintas. O primeiro modelo escolhido foi o de Okumura-Hata [11], abordagem clássica e de ampla aceitação, citado e reproduzido na maioria das referências didáticas pertinentes, como em [4]-[7]. Além disso, apresenta baixo esforço computacional e baixa demanda por informações detalhadas do terreno.

Em seguida, outro modelo empírico foi escolhido, o da Rec. ITU-R P.1546-5 [12]. Esse modelo, por sua vez, depende de um maior número de parâmetros que o anterior, e é mais abrangente em termos de limites de validade (distâncias, alturas de antenas e frequências). Havendo informações do terreno, a predição resultante tende a ser mais exata, em especial por prever a perda adicional por difração, quando pertinente. Vale destacar que este modelo teve ampla utilização desde a década passada, no contexto do planejamento da migração da radiodifusão analógica em VHF para digital em UHF, sendo inclusive adotado pela ANATEL como referência aqui no Brasil [15].

Por fim, um modelo teórico ponto-área específico ao terreno foi também considerado, o da Rec. ITU-R P.1812-4 [13]. Com essa escolha, procurou-se uma abordagem mais sensível aos parâmetros do terreno, e por isso mesmo, de demanda numérica relativamente maior. Este modelo foi proposto originalmente pela ITU (*International Telecommunication Union*) em 2007, justamente para ser utilizado em ferramentas computacionais que se propõem a utilizar informações detalhadas da área de análise. Por ser uma recomendação relativamente recente, ainda carece de um número mais expressivo de estudos de validação. Algumas iniciativas nesse sentido indicam boa aderência do modelo a medidas, como em [16]-[18].

A. Modelo de Okumura-Hata

O modelo de Okumura-Hata é aplicável a sistemas operando entre 150 e 1500 MHz, com distâncias entre as antenas transmissora e receptora entre 1 e 20 km, em áreas urbanas, suburbanas ou rurais/abertas [11]. Ele provê uma estimativa da perda de percurso ponto-área mediana em função da frequência, distância entre as antenas transmissora e receptora e alturas dessas antenas. A perda de percurso em regiões suburbanas ou rurais/abertas é calculada a partir da expressão da perda mediana urbana, da qual subtrai-se um fator de correção respectivo que também depende da frequência. As expressões deste modelo são encontradas não só na referência original, mas também nas principais referências didáticas sobre modelos de propagação para VHF e UHF, como já mencionado.

Sendo um modelo ponto-área empírico por concepção, sua sensibilidade às variações dos parâmetros do terreno é limitada. Além do fator de correção morfológico previamente citado (para áreas suburbanas ou rurais/abertas), o modelo contabiliza o efeito das variações de altimetria do terreno na forma de alturas efetivas das antenas, caso tais informações estejam disponíveis. As alturas que devem ser estimadas como parâmetros de entrada para expressão de perda mediana devem ser tomadas com relação à altura média do terreno

analisado, tomando como referência apenas a faixa entre 3 km e até 15 km, na direção do receptor. O modelo é válido em uma faixa limitada de valores dessas alturas efetivas das antenas: 30 a 200 m para a transmissora; e 1 a 10 m para a receptora.

B. Método da Rec. ITU-R P.1546-5

A recomendação ITU-R P.1546-5 [12] descreve um modelo válido na faixa de 30 MHz a 3 GHz, para sistemas de rádio terrestres, marítimos ou mistos com distâncias de até 1000 km, e alturas das antenas de transmissão e recepção entre 1 e 3000 m. As predições são baseadas em interpolações e extrapolações de curvas empíricas de campo elétrico recebido como função da frequência e do tipo de terreno, caracterizadas estatisticamente por percentis de distribuição temporal (1 a 50%) e espacial (1 a 99%).

As medidas de referência foram obtidas em regiões de clima temperado do hemisfério Norte, nas frequências de 100, 600 e 2000 MHz, em ambientes terrestres, marítimos, de mar quente e de mar frio. As curvas de intensidade de campo mediano recebido foram obtidas para oito alturas efetivas de transmissão de referência entre 10 e 1200 m, e em alturas de recepção de 10 m ou menos.

O modelo não é sensível à polarização e não necessita de dados de altimetria do terreno. No entanto, havendo disponibilidade dessas informações, elas são parcialmente aproveitadas por meio dos parâmetros de altura efetiva das antenas de transmissão e recepção, e pelo fator de correção do ângulo de folga do terreno (*TCA – Terrain Clearance Angle*). As alturas efetivas são tomadas com relação à altura média do terreno entre 3 km e 15 km, na direção do receptor. O TCA é definido como a diferença entre o ângulo de visada direta e o ângulo até a obstrução mais elevada. Há ainda outros parâmetros de ajuste que permitem uma melhoria no desempenho do modelo, tais como as alturas das aglomerações (*clutter*) ao redor do transmissor e receptor, e o tipo dessas aglomerações ou morfologia ao redor da antena receptora. Ajustes das curvas de referência em função do gradiente vertical de refratividade do local analisado também são uma opção.

A recomendação P.1546-5 está implementada quase em sua totalidade em um código MATLAB[®] disponibilizado pela própria ITU [19]. Ele calcula a intensidade de campo elétrico recebido para um enlace qualquer, tomando por dados de entrada os seguintes parâmetros obrigatórios: f (MHz) – frequência de operação; t (%) – percentagem de tempo desejada; h_{eff} (m) – altura efetiva da antena transmissora (Tx); h_2 (m) – altura da antena receptora (Rx) com relação ao solo; R_2 (m) – altura de *clutter* representativa das obstruções ao redor de Rx; *area* – tipo de morfologia predominante ao redor de Rx (rural, urbana, urbana densa ou marítima); \mathbf{d}_n (km) – vetor com as n distâncias dos diferentes tipos de terreno ao longo do perfil, a partir de Tx; \mathbf{path}_c – vetor com n palavras descrevendo o tipo de terreno ao longo do perfil, a partir de Tx (pode ser terra, mar, mar quente ou mar frio); e *pathinfo*, variável binária que assume 0 se não houver dados de altimetria do perfil, ou 1 caso contrário. Há mais doze parâmetros opcionais, dentre os quais se destacam a

percentagem de área, a potência de transmissão (o padrão é 1 kW), e os TCA de Tx e Rx. O código assume atmosfera padrão para fins de contabilização do efeito de não-homogeneidade da troposfera (raio equivalente da Terra \cong 8500 km).

C. Método da Rec. ITU-R P.1812-4

A recomendação P.1812-4 [13] apresenta um modelo válido na faixa de 30 MHz a 3 GHz, em distâncias de 0,25 km a 3000 km, e quando ambas as antenas dos terminais estão a até 3 km de altura em relação ao solo. Os parâmetros ou condições contabilizados pelo modelo são: visada direta; difração (pela curvatura da terra e por irregularidades do terreno); espalhamento troposférico; não-homogeneidade da troposfera (dutos e encurvamento dos raios de propagação); variação do ganho de altura com *clutter*; variabilidade local; e perdas por penetração em edificações.

A perda por difração é calculada por uma variante do modelo descrito em [20], chamada na recomendação de “delta-Bullington”. O modelo desta recomendação também permite a inserção de parâmetros rádio-climáticos que definem a variabilidade da refratividade da atmosfera, via gradiente médio de refratividade ΔN e refratividade ao nível do mar N_0 . O primeiro modifica o raio equivalente da Terra, e consequentemente o cálculo da perda por difração. Por sua vez, N_0 tem impacto apenas no cálculo da componente de propagação por espalhamento troposférico. Há ainda outros parâmetros que permitem um ajuste fino no desempenho do modelo geral, tais como as alturas e os tipos das aglomerações, bem como a indicação de diferentes zonas rádio-climáticas ao longo de toda a extensão do enlace, quando pertinente.

Também há uma implementação do modelo da recomendação P.1812-4 em algoritmo MATLAB[®] disponibilizada pela ITU [21]. O código calcula a intensidade de campo elétrico no receptor e também a perda de percurso de cada enlace. Os parâmetros obrigatórios de entrada para um enlace qualquer são: f (GHz) – frequência de operação; p (%) – percentagem de tempo desejada; \mathbf{d} (km) – vetor amostral de distâncias ao longo do enlace; \mathbf{h} (m) – vetor amostral de elevação do terreno (mesma dimensão do vetor \mathbf{d}); \mathbf{R} (m) – vetor de alturas de *clutter* ao longo do enlace (mesma dimensão do vetor \mathbf{d}); \mathbf{C}_t – vetor de tipos de *clutter* ao longo do enlace (mesma dimensão do vetor \mathbf{d}), para o qual há 5 opções possíveis (1 – água/mar, 2 – aberto/rural, 3 – suburbano, 4 – urbano/floresta, 5 – urbano denso); **zone** – vetor de tipos de zonas rádio-climáticas (mesma dimensão do vetor \mathbf{d}), para o qual há 3 opções possíveis (1 – marítima, 2 – terrestre costeira, 3 – continental); h_{tg} (m) – altura de Tx acima do solo; h_{rg} (m) – altura de Rx acima do solo; latitudes e longitudes de Tx e Rx; e polarização (horizontal ou vertical). De modo análogo ao código anterior, há ainda mais oito parâmetros opcionais, dentre os quais se destacam a potência de transmissão (o padrão é 1 kW), ΔN (N-unidades/km) e N_0 (N-unidades).

III. DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

A ferramenta de prova de conceito desenvolvida possui dois blocos distintos: um para análise de obstrução de visada em um perfil vertical de terreno; e outra, a principal, dedicada à predição de cobertura ponto-área. A plataforma utilizada foi o *software* MATLAB[®] [10], em seu modo de interface gráfica de usuário (GUI). Adicionalmente, ambos os blocos acessam mapas de altimetria no formato SRTM [14], de resolução horizontal de 90 m ou 30 m, dependendo da região do planeta. O algoritmo disponível em [22] foi aproveitado como base para o processamento dos dados de elevação de terreno nesta ferramenta. Havendo conexão à Internet, esse algoritmo baixa os arquivos da região desejada diretamente de um portal da NASA [23], de modo transparente ao usuário, caso a versão do MATLAB[®] seja de 2017 ou mais recente. Caso contrário, o usuário deve baixar os arquivos desejados e armazená-los no diretório do algoritmo.

A. Modo de análise de obstrução de visada

Ao executar este bloco, uma janela como a ilustrada na Fig. 1 aparece para o usuário. A primeira etapa é a inserção das coordenadas centrais e as dimensões da região de análise desejada. Ao clicar no botão “Carregar Mapa”, o mapa de altimetria respectivo é ilustrado. No próximo passo, o usuário deve clicar no botão “Selecionar Perfil”, e clicar no mapa de altimetria as posições das antenas transmissora e receptora, nesta ordem. As coordenadas dessas posições aparecem imediatamente depois no quadro inferior esquerdo.

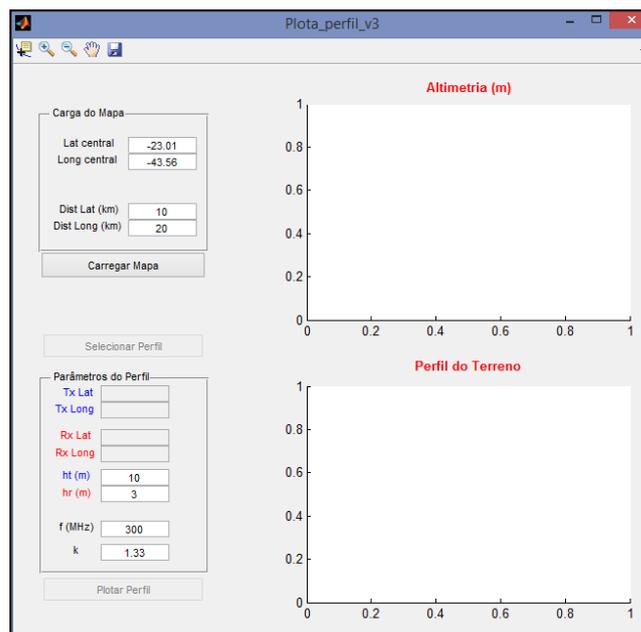


Fig. 1. Janela inicial do bloco de análise de obstrução de visada.

Por fim, o usuário insere as alturas das antenas transmissora e receptora (com relação ao terreno), a frequência de operação, e o fator k do raio equivalente da Terra (1,33 para atmosfera padrão). Ao clicar no botão “Plotar Perfil”, o perfil respectivo é ilustrado no espaço inferior direito, indicando os contornos de altimetria do terreno, as posições das antenas, a linha de visada e a

semielipse correspondente à folga de 0,58 do raio da primeira zona de Fresnel (r_1). Quando essa semielipse está desobstruída, o modelo de perda no espaço livre é aplicável [4]-[7].

B. Modo de análise de cobertura

A janela inicial do bloco de predição de cobertura é ilustrada na Fig. 2. Como no primeiro bloco, a etapa inicial é a carga do mapa altimétrico da região de análise, o que se dá pelo botão “Carregar Mapa”. Aqui, além das coordenadas centrais e das dimensões do mapa, há uma opção para reduzir a resolução, bastante útil para diminuir o tempo de processamento dos modelos de cálculo da perda de propagação, em especial para áreas extensas.

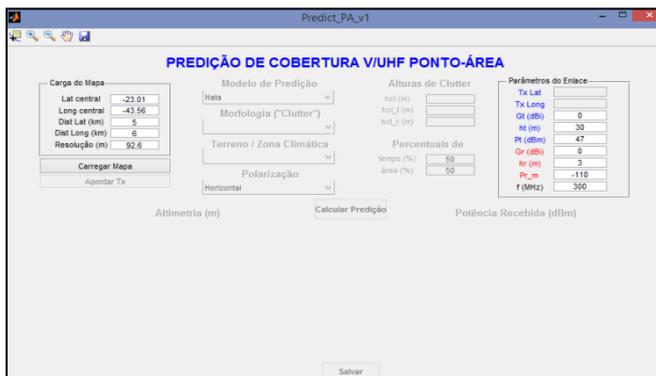


Fig. 2. Janela inicial do bloco de análise de predição de cobertura.

Em seguida, deve-se clicar no botão “Apontar Tx” e no mapa de alturas, que é ilustrado no canto inferior esquerdo da janela, deve-se clicar no ponto correspondente à posição da antena transmissora. Essa ação habilita o quadro de escolha do modelo de predição e de seus respectivos parâmetros (posição superior central da janela). O usuário deve complementar essa escolha inserindo ou ajustando os parâmetros do enlace do quadro superior direito, tais como ganhos e alturas das antenas, potência de transmissão e frequência. As coordenadas da antena transmissora aparecem nesse quadro. Configurado o cenário de análise, basta clicar no botão “Calcular Predição” e aguardar a geração do mapa de distribuição de potência recebida na área selecionada. Cumpre destacar que o algoritmo desenvolvido aproveita os códigos existentes para os modelos da ITU-R [19], [21], chamando-os como funções.

IV. ESTUDO DE CASO

Para ilustrar o potencial da ferramenta desenvolvida, tomou-se como estudo de caso um cenário hipotético de operação do RDS-Defesa para comunicação de sinal FM de voz, em 350 MHz, com uma viatura Guarani com antena monopolo vertical. A região escolhida foi um trecho de $40 \times 20 \text{ km}^2$ da zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, reproduzido na Fig. 3.

A. Análise de obstrução de visada

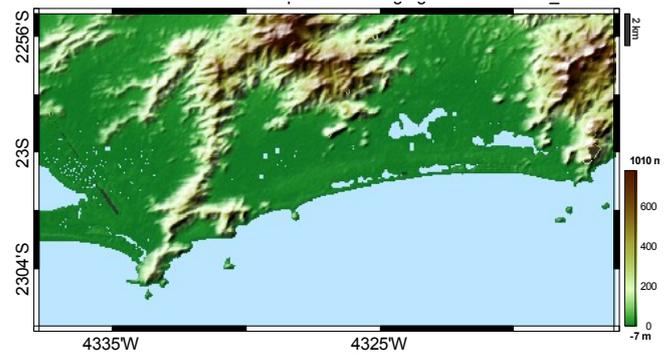


Fig. 3. Altimetria da região do estudo de caso.

O primeiro bloco da ferramenta se destina a apoiar o planejamento do oficial de comunicações ou equivalente na busca por pontos mais apropriados para transmissão sem obstrução, por exemplo. Sob um enfoque de contramedidas eletrônicas, a busca por obstruções que ajudem a reduzir a assinatura eletromagnética também se encaixa neste bloco. A Fig. 4 apresenta um caso em que há uma clara obstrução ao enlace direto. O operador pode testar diferentes posicionamentos de enlaces, modificar as alturas das antenas, observar a variação do raio da semielipse com a frequência, e mesmo avaliar a sensibilidade do enlace a mudanças do índice de refração da troposfera (via fator k).

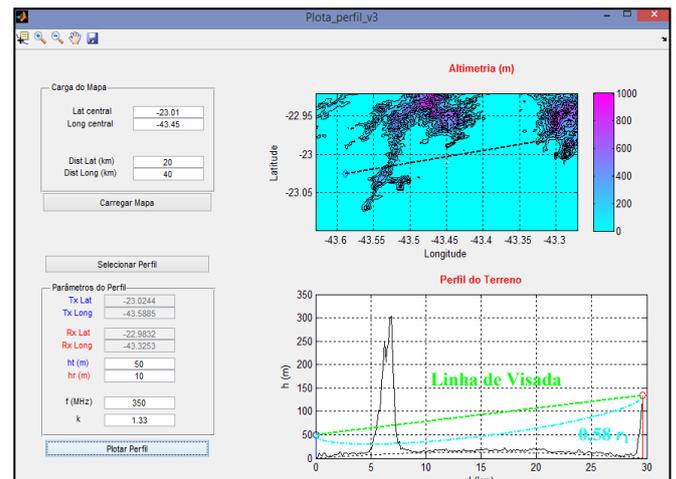


Fig. 4. Janela do bloco de análise de obstrução de visada – exemplo hipotético na região do estudo de caso.

B. Predição de cobertura

Como ponto de partida para o estudo de caso, considerou-se uma antena transmissora nas coordenadas $(-23,02^\circ; -43,41^\circ)$ e a $h_t = 30 \text{ m}$ de altura, para compatibilizar os limites de validade dos 3 modelos. A viatura Guarani representa o receptor, com altura de antena $h_r = 3 \text{ m}$. Para o modelo de Okumura-Hata, considerou-se, ainda, que a região ao redor do transmissor tinha morfologia predominante suburbana. O resultado da predição é ilustrado na Fig. 5. Tomando por referência o limiar de -110 dBm como sensibilidade de recepção, observa-se que o sistema funcionaria em praticamente toda a região destacada de $40 \times 20 \text{ km}^2$.

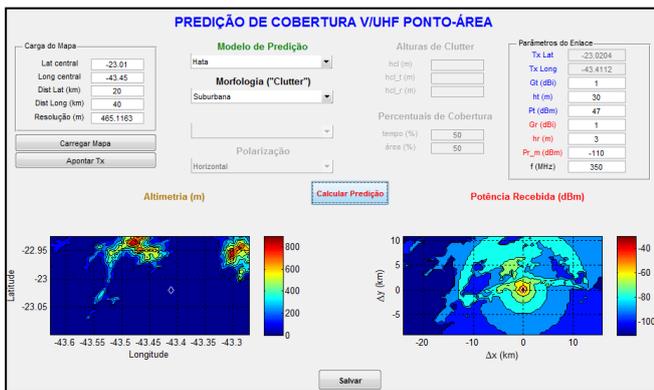


Fig. 5. Exemplo de resultado de predição de cobertura com modelo de Hata para o estudo de caso (área suburbana; $h_t = 30$ m).

Aplicando, em seguida, o modelo ITU-R P.1546-5, mantidas as condições anteriores, a predição foi mais pessimista que a do modelo de Okumura-Hata. A região coberta diminuiu mais de 50%, como se percebe na Fig. 6. Cumpre destacar que não há opção de morfologia suburbana neste modelo, daí a escolha pela urbana. Além disso, como destacado na seção II, este modelo tende a ser mais realista que o de Okumura-Hata quando as informações do terreno estão disponíveis. Mesmo difrações eventuais são computadas via TCA neste modelo, algo não previsto no de Okumura-Hata. O efeito da correção de TCA é nítido quando se confronta o mapa de cobertura com o de elevação, ao perceber a formação de regiões de sombra de sinal atrás de obstruções mais elevadas.

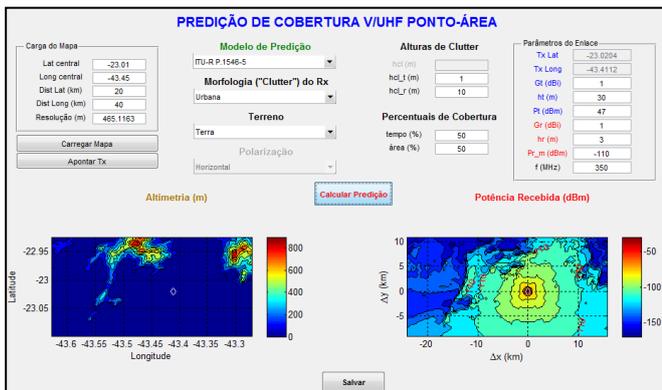


Fig. 6. Exemplo de resultado de predição de cobertura com modelo ITU-R P.1546-5 para o estudo de caso (área urbana; $h_t = 30$ m).

A Fig. 7 apresenta a predição segundo o modelo ITU-R 1812-4, para o caso em questão. Os valores de alturas de clutter são os padrões sugeridos pelo modelo para a morfologia suburbana. O resultado é qualitativamente similar ao do modelo anterior, com clara identificação das mesmas regiões de sombra mais significativas. Pela escolha de morfologia, entretanto, a predição aqui é um pouco mais otimista que a anterior.

Na etapa seguinte, algumas variações dos parâmetros de entrada do modelo ITU-R 1812-4 são testadas. Na Fig. 8, a altura de transmissão é reduzida a 3 m, reproduzindo o caso de duas viaturas Guarani se comunicando. Como esperado, a região de cobertura diminui com relação à do exemplo da

Fig. 7. E na Fig. 9, a morfologia é alterada para urbana/floresta, com alteração de alturas de clutter para os valores sugeridos respectivos pelo próprio modelo (15 m). Nesse ambiente mais densamente edificado, era de se esperar uma redução da área de cobertura em relação à do exemplo da Fig. 8, o que se confirma na predição ilustrada.

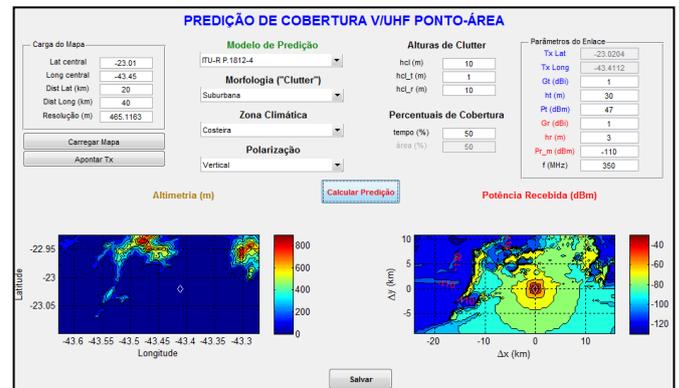


Fig. 7. Exemplo de resultado de predição de cobertura com modelo ITU-R P.1812-4 para o estudo de caso (área suburbana; $h_t = 30$ m; alturas de clutter de 10 m).

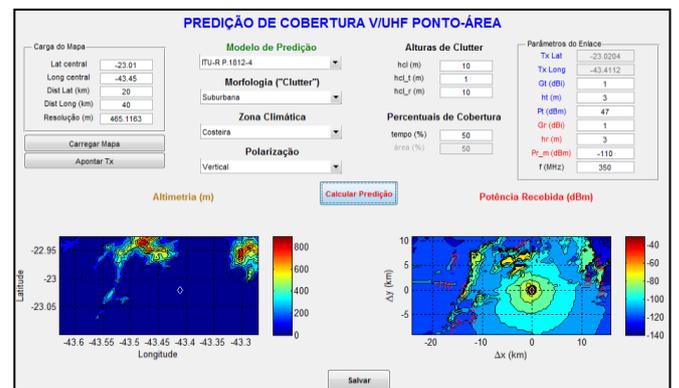


Fig. 8. Exemplo de resultado de predição de cobertura com modelo ITU-R P.1812-4 para o estudo de caso (área suburbana; $h_t = 3$ m; alturas de clutter de 10 m).

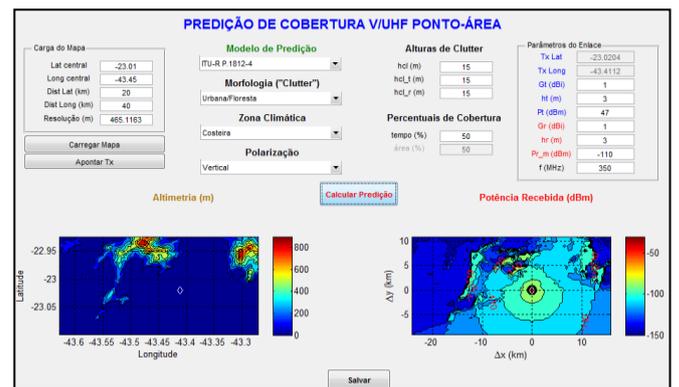


Fig. 9. Exemplo de resultado de predição de cobertura com modelo ITU-R P.1812-4 para o estudo de caso (área urbana/floresta; $h_t = 3$ m; alturas de clutter de 15 m).

Como destacado na seção II, os 3 modelos escolhidos são reconhecidos como adequados ao planejamento de sistemas VHF e UHF, cada qual com suas virtudes e limitações. Há situações em que o planejador precisa de respostas rápidas,

para ter uma avaliação preliminar da área de cobertura. O modelo de Okumura-Hata seria indicado para esse caso. Por outro lado, em ocasiões em que o planejador precisa ter noção mais clara da ocorrência de áreas de sombra, e de maior exatidão nos limites de cobertura do sistema, modelos como o ITU-R 1812-4 seriam mais indicados. No que se refere à funcionalidade desejada a este tipo de ferramenta, é fundamental prover diferentes opções de modelos, portanto.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou uma ferramenta de previsão de cobertura radioelétrica para apoio ao planejamento de comunicações táticas em VHF e UHF. O algoritmo foi desenvolvido no contexto do programa RDS-Defesa como prova preliminar de conceito de uma funcionalidade desejável no Planejador de Missões respectivo, em fase de concepção.

A ferramenta é composta por um bloco de análise de obstrução de linha de visada, e pelo bloco principal de previsão de cobertura. Três modelos ponto-área de características distintas foram implementados: Okumura-Hata; ITU-R P.1546-5; e ITU-R P-1812-4. A premissa era dispor, neste momento, de um algoritmo capaz principalmente de demonstrar as potencialidades desejadas de apoio ao planejamento. Em função disso, a implementação se deu em MATLAB®, aproveitando as facilidades de uma plataforma de programação especializada de alto nível, inclusive seu modo de interface gráfica. No mesmo espírito, foram utilizados mapas altimétricos SRTM, dada sua ampla disponibilidade na Internet e adequação aos propósitos da ferramenta.

Para exemplificar a utilidade do algoritmo desenvolvido, um estudo de caso foi apresentado, com características pertinentes às comunicações táticas. As diferenças de resultados entre as previsões dos modelos foram discutidas, levantando vantagens e desvantagens de cada um. Destacou-se, por fim, a importância da possibilidade de escolha para o planejador tático, que se depara com demandas diferenciadas de exatidão e rapidez de cálculo, antes e durante a operação.

Na continuação, prevê-se a implementação de ferramenta similar para faixa de HF e VHF baixa (modo de propagação terrestre), e a adoção de rotinas numéricas mais eficientes para geração do mapa de cobertura. Ainda, em momento oportuno, aspectos relativos à portabilidade para o MII do RDS-Defesa ditarão a escolha da linguagem de programação e do formato dos mapas em definitivo.

REFERÊNCIAS

- [1] M. G. C. Branco, F. A. Roelli, F. H. Silva, F. R. Pereira, G. C. Lima, M. A. Miquelino, R. P. H. Moreno, S. L. Ribeiro, D. F. C. Moura, J. F. Galdino, "Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa - Visão geral das primeiras contribuições do CPqD", *Cadernos CPqD Tecnologia*, vol. 10, no. esp., p. 9–16, Nov. 2014.
- [2] Ministério da Defesa, Portaria Normativa Nº 1866/MD - Requisitos Operacionais Conjuntos (ROC) para Rádio Definido por Software das Forças Armadas (ROC Nº 39/2013), 2013.
- [3] Estado-Maior do Exército, Portaria Nº 332-EME - Requisitos Operacionais Básicos do Sistema de Comando e Controle da Viatura Blindada de Transporte Pessoal (SC2 VBTP) (EB20-ROB-04.008), 1ª Edição, 2015.
- [4] H. L. Bertoni, *Radio Propagation for Modern Wireless Systems*, Pearson, 1999.
- [5] A. Ghasemi, A. Abedi, F. Ghasemi, *Propagation engineering in radio links design*, Springer Science & Business Media, 2013.
- [6] S. R. Saunders, A. Aragón-Zavala, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, 2nd ed., Wiley, 2007.
- [7] J. S. Seybold, *Introduction to RF Propagation*, Wiley, 2005.
- [8] ATDI, "HTZ Warfare", 2015. Disponível em: <http://www.atdi.com/htz-warfare/>. Acesso em: Ago. 2017.
- [9] ATDI - Advanced Spectrum Software, "PnC - palm-size radio planning". Disponível em: <http://www.atdi.co.uk/software/defence-markets/pnc/>. Acesso em: Jun. 2018.
- [10] Mathworks, "MATLAB". Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Acesso em: Jun. 2018.
- [11] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, no. 3, p. 317–325, 1980.
- [12] ITU, "Recommendation ITU-R P.1546-5 Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz", 2013.
- [13] ITU, "Recommendation ITU-R P.1812-4 A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands", 2015.
- [14] T. G. Farr, P. A. Rosen, E. Caro, R. Crippen, R. Duren, S. Hensley, M. Kobrick, M. Paller, E. Rodriguez, L. Roth, D. Seal, S. Shaffer, J. Shimada, J. Umland, M. Werner, M. Oskin, D. Burbank, D. Alsdorf, "The Shuttle Radar Topography Mission", *Reviews of Geophysics*, vol. 45, no. 2, 2007.
- [15] ANATEL, "Resolução nº 398 - Aprova as alterações do Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada, e do Regulamento Técnico para a Prestação do Serviço de Radiodifusão de Sons e Imagens e do Serviço de Retransmissão de TV", Brasília, 2005.
- [16] A. D. Pinto, J. R. Uzcatégui, N. A. P. Garcia, J. L. Aguilar, P. V. G. Castellanos, "Desempeño del Modelo de la Recomendación ITU-R P.1812-3 en la Predicción de Pérdidas en Sistemas de Televisión Digital Abierta en Caracas (Venezuela) y Belém (Brasil)", *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 34, no. 2, p. 441–462, 2016.
- [17] L. Paunovska, L. Gavrilovska, "Comparison of propagation models ITU-R-P.1546 and ITU-R-P.1812", 4th International Conference on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems (VITAE), Aalborg, p. 1–5, 2014.
- [18] F. M. Costa, L. A. R. Ramirez, M. H. C. Dias, "Analysis of ITU-R VHF/UHF propagation prediction methods performance on irregular terrains covered by forest", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 12, no. 8, p. 1450–1455, Jul. 2018.
- [19] ITU-R, "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz". Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg3/Pages/iono-tropospheric.aspx>. Acesso em: Jun. 2017.
- [20] K. Bullington, "Radio propagation at frequencies above 30 megacycles", *Proceedings of the IRE*, vol. 35, no. 10, p. 1122–1136, 1947.
- [21] ITU-R, "A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands". Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg3/Pages/iono-tropospheric.aspx>. Acesso em: Jun. 2017.
- [22] F. Beauducel, "READHGT: Import/download NASA SRTM data files (.HGT)", 27/12/2016. Disponível em: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/36379-readhgt-import-download-nasa-srtm-data-files---hgt->. Acesso em: Jul. 2017.
- [23] U. S. Geological Survey, "Index of /srtm". Disponível em: <https://dds.cr.usgs.gov/srtm/>. Acesso em: Mai. 2018.