

Emprego do Padrão IEEE 802.11 e 802.16 na Amazônia Ocidental

Sílvio Farno de Souza Freixo - Cap
Centro Integrado de Guerra Eletrônica- CIGE – Brasília, DF.

Resumo — O presente trabalho apresenta uma solução viável de modo a melhorarmos as comunicações em ambiente de selva para o Exército Brasileiro. Aqui procuraremos caracterizar os mecanismos de propagação do UHF e indicaremos para teste, uma rede *wireless* baseada no emprego de *Wi - Fi* e *Wmax* sob certas condicionantes.

I. INTRODUÇÃO

O estudo das comunicações em ambiente de selva surge na Segunda Guerra Mundial, com o Teatro de Operações no Pacífico, na luta entre norte-americanos e japoneses. Mais adiante, ocorre uma ênfase nesta abordagem, com a Guerra do Vietnã. Nestas duas Guerras, houve o detrimento no uso dos rádios de VHF (faixa de frequência de 30 MHz a 300 MHz, altamente atenuada se usarmos os transceptores imersos na floresta), todavia ocorreu o emprego maciço dos rádios de HF (3 MHz a 30 MHz), alinhado a características de propagação desta faixa de frequência (Onda Lateral e Onda Ionosférica) em florestas tropicais e equatoriais [2] e [3].

Uma desvantagem deste meio de comunicações rádio, é que não temos capacidade de obtermos um enlace com uma boa taxa de transmissão de dados. Visto que a faixa de HF apresenta uma banda pequena. Além disso, existe a dependência do uso da ionosfera (Onda Refletida), o que gera ruído e atenuação característicos nos enlaces [5].

Tendo em vista a necessidade de melhorarmos esta situação, vislumbra-se o uso de tecnologias mais avançadas, as quais irão permitir maior fluxo de informação com ínfimos erros. Deste modo, é cabível de análise, o uso de equipamentos do padrão IEEE 802.11 (*Wi - Fi*) e 802.16 (*Wmax*) sob determinadas condições. Visualizando-se assim, uma rede *wireless*, em ambiente de selva, seguindo certos critérios com relação, principalmente, a propagação na faixa de UHF.

Cabe dizer, que os equipamentos do padrão IEEE 802.11 (*Wi - Fi*) e 802.16 (*Wmax*) apresentam a vantagem de poderem ser usados como nós de Rede. Isto irá permitir a integração com outros meios de comunicações como, por exemplo: internet, intranet (se for o caso), telefonia fixa (integração rádio - fio), rádios de VHF e rádios de HF, além de disporem de recursos de criptografia simétrica e assimétrica [7], [10] e [11].

Além disso, iremos verificar que o mecanismo de propagação da Onda Lateral, também é válido para faixas superiores ao HF [1]. Neste caso particular, para a faixa de UHF. E será defendida, a exploração da visada direta (Onda Direta) usando a calha dos rios largos da região, assim como o emprego de balões, torres, dirigíveis e *VANTs* de modo a

propagarmos (a melhor) a energia eletromagnética sobre a copa das árvores.

Neste ínterim ainda, é cabível a exploração da experiência do uso dos sistemas troncalizados usados pelo Exército Brasileiro no Rio de Janeiro. Estes sistemas vêm apresentando, características muito desejáveis.

II. DESENVOLVIMENTO

a. Mecanismos de propagação utilizados em UHF – considerando a distância dos enlaces entre 5 a 20 km.

1) Propagação no espaço livre – visibilidade

É o caso mais simples de propagação, no qual transmissor e receptor estão imersos em um espaço livre de obstruções em qualquer direção e o campo elétrico é calculado em um ponto qualquer de observação.

$$L_r[\text{dB}] = 92,44 + 20\log d[\text{km}] + 20\log f[\text{GHz}] - G_T[\text{dBi}] - G_R[\text{dBi}]$$

2) Propagação em ambiente de selva com transmissores imersos em floresta

As folhas e galhos das árvores oferecem significativa atenuação ao UHF e às frequências mais altas. Atenuação, de acordo com Bertoni [1], depende da frequência e do tipo de árvore, do tamanho das folhas e dos galhos, forma e distribuição angular destes. Como exemplo, a atenuação específica para distâncias superiores a 20 metros, apresenta para 11.2 GHz o valor de 2,0 dB/m, quando as árvores estão com folhas, e 1,7 dB/m quando as árvores estão sem folhas.

Tratando as folhas e galhos, como numa média, a atenuação pode ser avaliada teoricamente. Dentro de uma média, o campo total é composto por uma parte coerente e uma parte difusa. O campo coerente está associado com o espalhamento posterior resultante das folhas e galhos individualmente, enquanto o campo difuso é resultante do espalhamento na direção do campo [1].

Com a propagação das ondas eletromagnéticas, o campo coerente é inicialmente dominante. Entretanto, ele decai relativamente rápido com a resultante absorção das folhas e galhos, e por intermédio do espalhamento proveniente do campo difuso. Depois de uma atenuação considerável, o campo coerente torna-se ínfimo, o campo difuso torna-se dominante e decai, mas numa taxa menor [1].

A constante de propagação para campos coerentes através de folhas e galhos pode ser escrita como $K_f = k + k$ através de floresta, onde k é o comprimento de onda no ar e o

desvio $k = k' - jk''$ apresenta uma parte real e uma parte imaginária. A frequência depende da $k' = \text{Re}[k]$ e $k'' = -\text{Im}[k]$. Estes são plotados na figura 1.

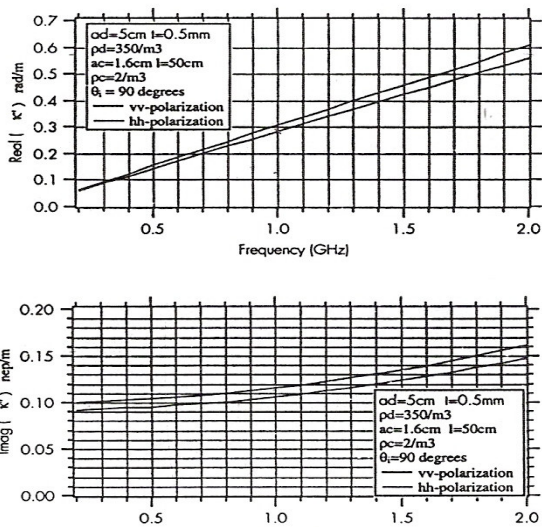


Figura 1. Constante de Propagação, [1].

Desde que galhos e troncos sejam distribuídos num limitado ângulo em relação a vertical, o valor de k é diferente para a onda verticalmente e horizontalmente polarizada. O que dependerá da direção de propagação da onda com relação a vertical.

Neste contexto, podemos definir o campo coerente dominante, uma constante dielétrica efetiva e uma parcela de polarização para a cobertura florestal. Desde que, nós nos concentremos com a propagação em direções que são barradas para a horizontal, por simplicidade, nós podemos pensar em termos de quantidades escalares, as quais serão diferentes para a polarização TM e TE. Assim, a constante dielétrica ζ_r e a parcela de polarização x podem ser definidas pela seguinte relação:

$$\epsilon_r \equiv 1 + \chi = \frac{(k + \kappa)^2}{k^2}$$

Utilizando os valores de k para polarização vertical em 1 GHz, nós encontraremos uma parte real e uma parte imaginária para a parcela de polarização $x = x' - jx''$ onde teremos os valores de $x' = 0,027$ e $x'' = 0,010$. Para 200 MHz, não há x' , mas há $x'' = 0,043$.

a) Primeiro modelo aplicável [1]

Neste caso, identificaremos a propagação em ambiente de selva, com um transmissor imerso em floresta e o outro acima da copa das árvores. O modelo segue o esquema de propagação mostrado na figura 2.

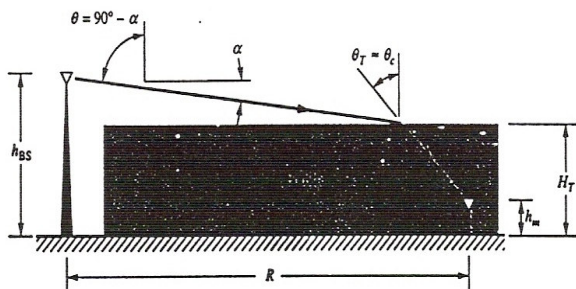


Figura 2. Primeiro modelo aplicável, [1].

onde depois de algumas aproximações, chegaremos a:

$$PG = \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \frac{4 (h_{BS} - H_T)^2}{R^4 |\chi|} \exp[2(H_T - h_m)k \text{Im}\{\sqrt{\chi}\}]$$

E,

$$A \text{ (dB)} = -10\log(PG)$$

À base da teoria, considerando a altura de 40 metros para a estação base, 19 metros para o móvel, 20 metros para a altura média da copa das árvores e, utilizando ainda, as frequências de 250 MHz, 500 MHz, 1 GHz e 2 GHz, e também, os alcances de 1, 2, 5, 10 e 20 Km entre as estações, teríamos os seguintes resultados animadores em termos de atenuação:

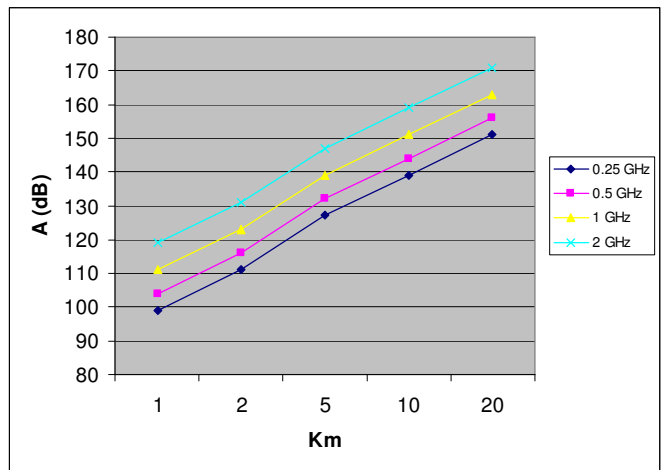


Gráfico1 – Considerando o móvel a 19 metros de altura e estação base a 40 metros – Primeiro Modelo

b) Segundo Modelo Aplicável [1]

Neste caso, temos a propagação em ambiente de selva, com um transmissor em uma região aberta (descontinuidade) e o outro acima da copa das árvores. Este modelo é sugerido por LaGrone [1]. Ele observou, através de medidas na faixa de frequência de 82 MHz a 2,95 GHz, que o corte da floresta provocaria uma difração por gume de faca no sinal. Podemos ver na figura 3, o segundo modelo aplicável.

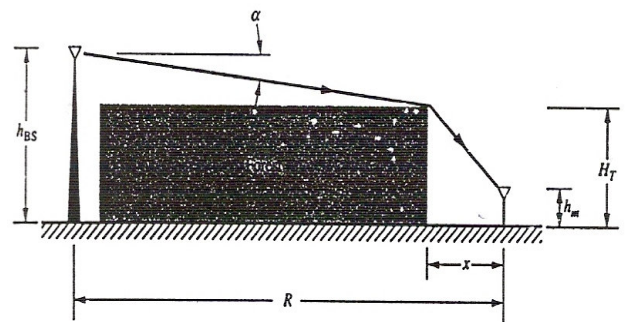


Figura 2. Segundo modelo aplicável, [1].

Lagrone verificou também que, pequenas estradas que cortam florestas geram variações consideráveis em termos de atenuação, na frequência de 431 e 914 MHz. Indicando que a altura equivalente está intimamente ligada à atenuação.

Assim, após algumas aproximações no modelo, chegamos à formulação abaixo:

$$PG = \frac{\lambda^3}{(2\pi)^4 R^4} \frac{1}{\rho \theta^2 |\chi|} \frac{(h_{BS} - H_T)^2}{(H_T - h_m)^2} \approx \frac{\lambda^3}{(2\pi)^4 R^4} \frac{1}{\rho} \frac{(h_{BS} - H_T)^2}{(H_T - h_m)^2}$$

Onde ρ é

$$\rho = \sqrt{x^2 + (H_T - h_m)^2}$$

E,

$$A \text{ (dB)} = -10 \log(PG)$$

À base da teoria, considerando a altura de 40 metros para a estação base, 19 metros para o móvel (sendo ele afastado da floresta de 50 metros), 20 metros para a altura média da copa das árvores e, utilizando ainda, as frequências de 250 MHz, 500 MHz, 1 GHz e 2 GHz, e também, os alcances de 1, 2, 5, 10 e 20 Km entre as estações, teríamos os seguintes resultados animadores em termos de atenuação:

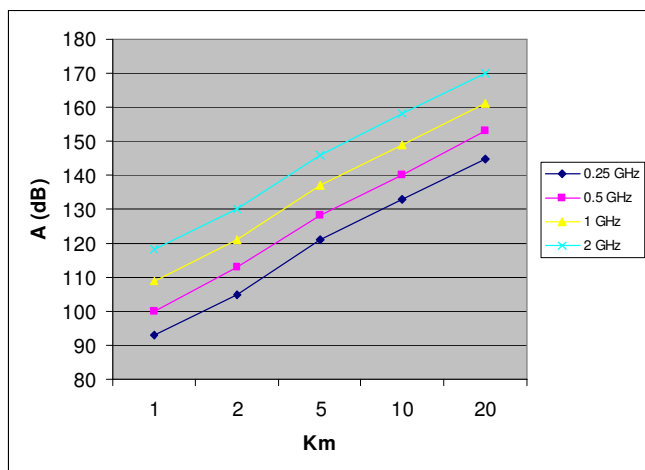


Gráfico 2 – Considerando o móvel a 19 metros de altura e estação base a 40 metros – Segundo Modelo

Vale dizer, que usando esses dados, teríamos uma redução considerável, da atenuação em relação ao primeiro modelo. Além disso, a altura de 40 metros ou superior poderia ser atingida com o uso de torres, balões ou VANTs.

3) *Análise para a frequência de 1 GHz, usando o primeiro e o segundo modelos e propagação em espaço livre, para um enlace em ambiente de selva. Considerando os dados técnicos de mercado dos equipamentos e os seguintes dados físicos:*

- Altura da estação fixa = 40m;
- Antena do móvel = 1 metro da copa das árvores;
- Potência máxima de saída = 23 dBm;
- Sensibilidade dos equipamentos = - 90 dBm;
- Ganho das antenas dos equipamentos = 14 dBi;
- Distância do enlace = 20 Km;
- Distância do móvel para o início da floresta de 50 metros.

Verificaríamos teoricamente, sucesso na propagação em espaço livre. Porém seria necessário que a distância do enlace fosse reduzida, no caso do primeiro modelo, para 7,5 Km e do segundo modelo para 10 Km.

Este fato é animador, porém deve ser analisado na prática com um reconhecimento de telecomunicações detalhado e, buscando como um fim, a construção de um padrão de comportamento para a distância, função da frequência, função da região em estudo, função das alturas do móvel e da base e função do horário (atenuação peculiar da região) [8].

b. Cobertura Ponto – Área [8]

Com o objetivo de estabelecer subsídios para a implantação de um sistema móvel que possibilitasse cobrir a estrada de ferro Carajás (PA) – Porto de Itaquí (MA) da Companhia de Vale do Rio Doce – CVRD, a Promon Engenharia S.A realizou, em 1982, uma série de medidas de propagação, cujos principais resultados são a seguir mencionados. As medidas foram efetuadas na frequência de 158,15 MHz em uma viatura (ida e volta), a partir de uma estação transmissora fixa. Os dados relativos a cada percurso são mostrados na tabela 1. Observa-se nesta tabela, que para evitar o bloqueio introduzido pela floresta, em cada estação fixa, a antena foi posicionada acima da altura média da cota das árvores, que na região em estudo corresponde aproximadamente a 20 metros. Por outro lado, o deslocamento da viatura foi feito em uma área aberta da floresta (ao longo do leito da ferrovia), com a largura da ordem de 100 m. Analisando a tabela 1, podemos identificar que entre os KM 513 e 545 da estrada de ferro, com a altura do fixo de 80 metros, tivemos uma alcance máximo de 32 Km.

TRECHO	ALTURA DO TRANSMISSOR	DISTÂNCIA MÁXIMA DE COBERTURA	VALOR MÉDIO DA ATENUAÇÃO EM RELAÇÃO À TERRA PLANA
513-545	80 m	32 km	7,66
545-513	80 m	32 km	13,45
592-633	80 m	41 km	11,07
636-591	80 m	45 km	6,41
737-764	80 m	27 km	9,59
765-738	80 m	27 km	10,69
765-818	80 m	53 km	14,04
818-765	75 m	53 km	5,87
818-858	75 m	40 km	5,36
858-818	30 m	40 km	7,7

Tabela 1 – Teste Rádio Promon Engenharia S.A [8]

c. Enlaces Longos [8]

Entende-se por enlaces longos aqueles cuja distância do transmissor ao receptor é da ordem ou superior a 80 Km. Em outra palavras, esta referência corresponde aproximadamente a distância onde a difusão troposférica começa a tornar-se importante como mecanismo de propagação. Para enlaces abaixo de 80 Km, prepondera, em geral, o mecanismo de difração pela curvatura da terra ou pelos obstáculos do terreno. Não há uma separação rígida entre os mecanismos de difração e de difusão. Esta separação, que ocorre em uma faixa que pode se estender de 80 a 150 Km, depende criticamente das condições meteorológicas da região em estudo. Em muitos casos, num mesmo enlace, ao

longo da variação diária, pode haver alternância do mecanismo dominante. Apresentamos o enlace de Manaus – Autazes da TELEAMAZON, que apresenta os seguintes dados:

Distância: 113 Km;
Altura da antena em Manaus: 93 m;
Altura da antena em Autazes: 60 m;
Frequência de operação: 271,25 MHz;
Potência de transmissão: 100 W;
Altura média da floresta: 30 m;
Ganho das antenas: 26 dbi.

d. Emprego do (Wi-Fi) usando a calha dos rios largos amazônicos [9]

Hoje, já observamos o uso de equipamentos Wi – Fi em algumas localidades da Região Amazônica (ONGS) com sucesso. Nestes casos, são exploradas as calhas largas dos rios, as quais são peculiares na região.

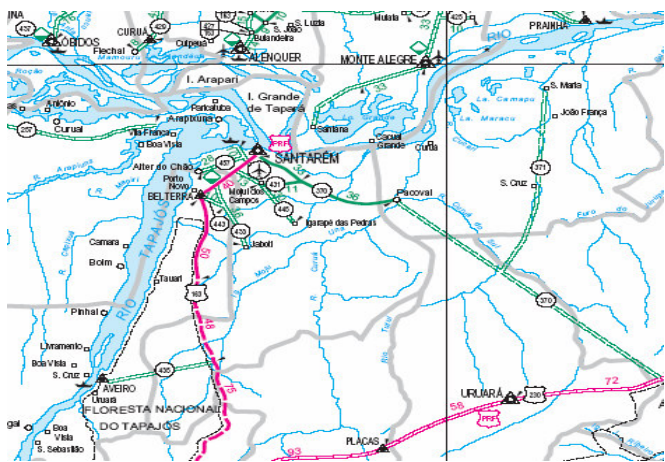


Figura 3 – Hidrografia na Região de Santarém – PA [9]

Podemos observar na figura 3, como é a situação hidrográfica na região de Santarém no Belém do Pará. Notamos que em certas posições, temos uma calha por volta de 10 Km de largura. Fato que reforça e torna mais fácil o emprego do wireless.

e. Sistemas – rádio troncalizados [4]

O sistema-rádio troncalizado é dito um sistema que permite o compartilhamento automático de um número limitado de canais de radiofrequência para um grande número de usuários. O grande detalhe deste sistema no nosso estudo, é que ele é utilizado de forma prática e versátil no Rio de Janeiro pelo Exército Brasileiro. Apresentando as seguintes características fundamentais, algumas já explicitadas:

- Alta mobilidade;
- A utilização de sistemas irradiantes simples;
- O crescimento ordenado do sistema, sendo bastante fácil planejar a expansão;
- Uma grande facilidade e manuseio dos equipamentos;
- Cobertura de, em média, de 20 Km com pequena potência de transmissão;
- Necessidade do repetidor ser colocado em posição elevada;
- Frequência de operação de 800 MHz.

f. Análise da situação do UHF pela necessidade operacional

Tendo em vista a necessidade de melhorarmos a transmissão de dados, vislumbra-se o uso de tecnologias mais avançadas para região amazônica. Como sabemos, mesmo usando essas tecnologias, existem certos fatores que reduzirão a eficácia na implantação destes sistemas e, se não forem respeitados com evidência, podem pôr todo o trabalho em risco. Neste sentido, e com a experiência adquirida com os dados provenientes das seções sobre UHF, podemos chegar a certas conclusões, que auxiliarão em muito na tomada de decisão acertada com relação ao emprego do UHF na região amazônica.

São eles:

1) Faixa de frequência de 400 MHz a 1.2 GHz

Isto porque ela está diretamente relacionada com a atenuação, com a flexibilidade no emprego dos equipamentos (antenas) e com a capacidade de transmitir maior quantidade de informação (quantidade de dados).

Podemos observar, nas análises anteriores, que reduzindo a frequência em todos os modelos e na propagação em espaço livre, ocorrerá uma significativa redução da atenuação ao sinal transmitido. Neste sentido, buscamos uma frequência que provocaria pouca atenuação e que, se possível, tivéssemos dados a respeito.

Neste íterim, é notável o emprego do sistema troncalizado utilizado pelo Exército Brasileiro no Rio de Janeiro pelo Segundo Centro Telemático de Área. Pudemos observar, que o sistema atinge alcances por volta de 20 Km com rádios de pequena potência (3,5 Watts) usando 800 MHz de frequência.

Além disso, considerando o mesmo equipamento, vale lembrar que este oferece alta flexibilidade no emprego. O uso da frequência de 800 MHz permite que usemos antenas que não tenham necessidade de serem altamente direcionais. Observamos isto, porque ao verificarmos o equipamento 802.11 com o rádio transmissor de 4,5 GHz adquirido pelo Exército Brasileiro, em dotação atualmente no Batalhão Escola de Comunicações, existe a necessidade vital do direcionamento das antenas do equipamento para que o mesmo funcione, fato que não acontece no Sistema Troncalizado.

2) Necessidade de antenas com bom ganho

Isto é um fator crucial. Como sabemos a selva provoca uma forte atenuação às frequências na faixa de UHF. Com antenas de alto ganho, teríamos a possibilidade de aumentarmos a distância do enlace.

3) Necessidade de desviarmos da floresta

Como foi elucidado anteriormente, obteve-se sucesso no enlace para cobrir a estrada de ferro Carajás (PA) – Porto de Itaquí (MA) da Companhia de Vale do Rio Doce – CVRD realizado pela Promon Engenharia S.A, no enlace de Manaus – Autazes da TELEAMAZON, e mais recentemente, no emprego de Wi – Fi usando a calha do Amazonas na região de Belém. Cabe dizer ainda, que a atenuação em espaço livre em relação à atenuação referente aos modelos é bem menor. Neste caso, é muito importante, utilizarmos nas estações base, torres, balões e se viável o emprego de VANT para deslocarmos as antenas acima do teto das árvores.

4) *Utilidade de equipamentos sensíveis e com boa potência de saída*

Fator intimamente ligado à necessidade de poder atingirmos maiores distâncias com o sistema. Cabe destacar, que usando o exemplo do enlace de Manaus – Autazes da TELEAMAZON, foi usado um rádio de 100 Watts de potência e conseguiu-se, unido a certas peculiaridades do enlace (vistas anteriormente), um alcance de 113 Km.

5) *Emprego de equipamentos que permitam a integração entre diversos meios de comunicações.*

Como sabemos, o Exército emprega diretamente na região, equipamento de HF. No futuro, caso ocorra aplicação do UHF com tecnologias modernas, busquemos equipamentos que permitam a integração entre UHF e HF. Assim poderemos flexibilizar as telecomunicações sem prejuízo operacional no todo.

g. *Sugestão de emprego operacional do sistema [6]*

1) *Emprego Tático (capilaridade)*

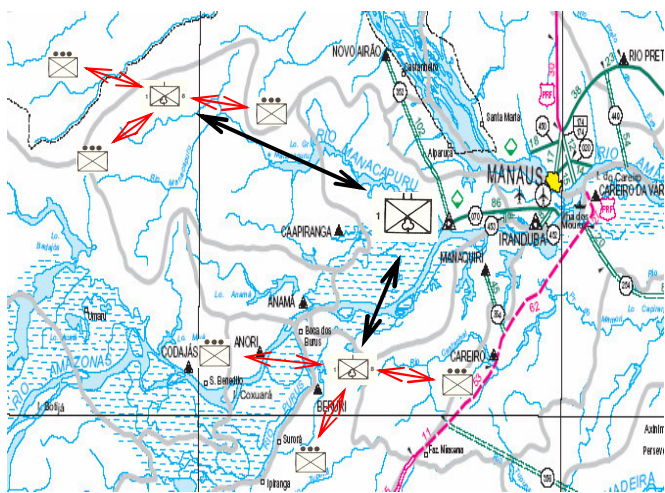


Figura 4 – Emprego Tático – Capilaridade [6]. Em vermelho Pel – Cia; em preto Cia – Btl.

No alcance de 5 a 10 Km é visualizado a ligação (pelotão – companhia) em selva. Nesta faixa também, teríamos o emprego de comunicações subunidade – batalhão. Neste caso, poderíamos ter PCs embarcados com livre deslocamento dos comandantes dos Batalhões de Infantaria de Selva pelas vias fluviais (figura 4);

Além disso, vale destacar que, usando os rios poderíamos ter comunicações entre PCs móveis. Visualizando o deslocamento dos PCs embarcados dos Comandantes de Batalhões e do PC do comandante da Brigada.

2) *Emprego Estratégico*

No caso da propagação em espaço livre, utilizaríamos intensamente a calha dos rios para a comunicação com os escalões superiores. É importante dizer que, se tivermos um equipamento que apresente as características vistas anteriormente, e mais uma vez, integre os meios de comunicações existentes na região, isto proporcionaria uma grande flexibilidade e melhora em termos de tráfego da

informação. O que é vital para as unidades do Exército Brasileiro situadas no Comando Militar da Amazônia.

III. CONCLUSÃO

Através deste trabalho, procuramos identificar a viabilidade do emprego de equipamentos na faixa de UHF na região em estudo, com base na experiência, teoria e em testes rádio. Isto, com a finalidade de defendermos a implantação de uma rede de transmissão de dados na região operando em UHF. Vale destacar, que para obtermos êxito completo, temos que verificar à base da prática experimental, como um fim, os seguintes fatores levantados:

1. **Determinação de uma faixa de frequência padrão** experimentalmente (**temos indícios à base da teoria**) – de modo a encontrarmos uma que proporcione, ao mesmo tempo, um bom alcance, boa capacidade de dados e operacionalidade dos equipamentos;

2. Identificação de **dispositivos-padrão operacionais** que auxiliem no desvio do sinal da floresta – neste caso, temos o emprego de balões, dirigíveis, torres, VANT e etc;

Cabe dizer ainda, que é importante determinarmos o seguinte:

- Levantamento completo da dimensão da calha do leito dos rios no percurso do sinal;

- Levantamento da altura média da floresta no percurso do sinal;

- Adoção de equipamentos que apresentem boa sensibilidade, boa potência de saída, disponham de antenas de alto ganho, operem na frequência determinada pelo teste experimental e apresentem características afins aos padrões IEEE 802.11 e 802.16.

REFERÊNCIAS

Referências

- [1] BERTONI, Henry L. Radio propagation for modern wireless systems. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil Ltda, 2000. 258p.
- [2] DALL BELLO, Júlio César Rodrigues; De Assis, Mauro Soares. **Comunicações Táticas na Região Amazônica**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia/ Ministério do Exército, Diretoria de Assuntos Culturais – Vol. IX, n.º. 3 (jul/set 1992) - Rio de Janeiro, 12p.
- [3] DALL BELLO, Júlio César Rodrigues. **Propagação de ondas eletromagnéticas na floresta amazônica**. Rio de Janeiro, 1984. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - SE-3, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1984.
- [4] DALL BELLO, Júlio César Rodrigues. **Sistemas rádio-móveis truncionalizados (trunking)**. Instituto Militar de Engenharia. SE-3. Rio de Janeiro: IME, 1990.
- [5] FILHO, Rafael Costa Pinto. **Propagação de sinais rádio elétricos na floresta amazônica – Dimensionamento de sistema**. Rio de Janeiro, 1986. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - SE-3, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1986.
- [6] FREIXO, Sílvio Farno de Souza. **Emprego do Padrão IEEE 802.11 e 802.16 na Amazônia Ocidental**. Rio de Janeiro, 2006. Trabalho Fim de Curso – SE-3, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.
- [7] GEIER, Jim. **Wireless Lans**. 2. ed. Sams. London. 2001. 360p.
- [8] PEDRA, Antônio Carlos de Oliveira. **Emprego de comunicações militares nas faixas de VHF e UHF em operações de campanha**. Rio de Janeiro, 1987. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - SE-3, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1987.
- [9] SPOSITO, Rosa. **Wi-Fi na floresta**. Zona Wireless. 2004.
- [10] TANENBAUM, Andrey S. **Redes de computadores**. 4. ed. Tradução: Vandenberg D. de Souza. Rio de Janeiro. Campos, 2003. 955p.
- [11] WHEAT, J. et al. **Designing a Wireless Network**: Understand How Wireless Communication Works. 800 Hingham Street, Rockland, MA 02370, U.S.: Syngress Publishig, Inc., 2001. ISBN 1-928994-45-8.