

## 3 Contribuições

Neste capítulo, as principais contribuições presentes no desenvolvimento proposto no capítulo anterior serão evidenciadas.

### 3.1. Equacionamento puramente vetorial

Apesar de os campos elétricos e magnéticos vetoriais serem representados por seus respectivos potenciais Hertzianos escalares, pode-se observar, com base nas equações (2.1) a (2.2), que o equacionamento proposto aqui é totalmente vetorial e tridimensional. A utilização de potenciais escalares tem como vantagem diminuir a ordem do sistema de equações esparsas a ser resolvido.

Isso é visto como uma contribuição, pois não há na literatura um equacionamento totalmente vetorial capaz de interpretar a despolarização dos campos na presença de um terreno irregular.

### 3.2. Divergência dos campos nula

As maneiras pelas quais os campos elétrico e magnético vetoriais foram relacionados aos seus respectivos potenciais Hertzianos escalares, descrita pelas equações (2.1) e (2.2), não só estão de acordo com as equações de Maxwell como também garantem, no regime contínuo, divergência nula do vetor deslocamento  $\vec{D}$  e do vetor intensidade de campo magnético  $\vec{H}$  em toda a região de interesse. Essa exigência de divergência nula dos campos não é garantida por outros autores.

### 3.3. Inclusão do terreno

A forma alternativa utilizada para incluir a presença de terreno irregular tanto na condição de contorno de impedância (2.9) como na equação de

Helmholtz escalar modificada (2.7) apresentada na seção 2.3, elimina a necessidade do procedimento híbrido de dois passos proposto por outros autores.

### **3.4. Despolarização dos campos**

A presença de um terreno irregular acopla os campos elétricos e magnéticos e a condição de contorno de impedância (2.9) representa a forma pela qual esses campos estão relacionados sobre a superfície do terreno. Assim, a despolarização dos campos devida à presença do terreno irregular está contida na formulação.

A maneira pela qual os coeficientes da Equação (2.51), representando a condição de contorno de impedância, foram adicionados à matriz esparsa  $\bar{\bar{A}}_{l+1}$  merece destaque.

Deve-se observar que as características eletromagnéticas do solo são levadas em consideração pela impedância do terreno  $Z_1$ , por intermédio da Equação (2.10).

### **3.5. Outros efeitos**

Outros efeitos que são normalmente capturados pelo formalismo da equação parabólica vetorial, ainda estão presentes no equacionamento apresentado: refração atmosférica, reflexão, difração e espalhamento. Serão observados nos exemplos apresentados nos capítulos seguintes os efeitos de dutos troposféricos e da existência de percursos múltiplos entre a fonte e pontos de observação.

### **3.6. Implementação numérica do modelo contínuo**

A forma sistemática da implementação do modelo proposto apresentada nas seções 2.5 a 2.7 também constitui uma contribuição, uma vez que auxilia o leitor a observar os detalhes relacionados com a criação do código fonte.

### **3.7. Aproximação para ângulo estreito**

Apesar de não ser uma contribuição, é importante ressaltar que a equação parabólica (2.30) despreza o retroespalhamento. Adicionalmente, é análoga às consideradas de ângulo estreito em problemas bidimensionais, que limitam a propagação a direções próximas à horizontal [34]. Em outras palavras, é razoável esperar que, em consequência das duas aproximações introduzidas, o cálculo dos campos na presença de terrenos íngremes, responsáveis por sinais refletidos ou difratados em direções que fazem ângulos apreciáveis com a horizontal, não apresente resultados satisfatórios. À medida que o terreno se torne cada vez mais íngreme, espera-se que aproximações de ângulo estreito apresentem deficiências, que poderiam ser minimizadas pela utilização de aproximações de ângulo mais largo. Entretanto, mesmo estas se tornarão insatisfatórias quando os efeitos do retroespalhamento tiverem que ser considerados.