

Propagação ao longo de cabos de comunicação contínua

ANTÓNIO SIMÃO DE CARVALHO FERNANDES

Eng. Electrotécnico (I.S.T.)

Prof. Associado (I.S.T.)

Centro de Electrodinâmica da U.T.L.

resumo

Um «Cabo de Comunicação Contínua» é essencialmente uma linha de transmissão; tem no entanto características tais que assegura, ao longo do seu comprimento e dentro de uma determinada distância radial, um certo nível da densidade de potência da onda electromagnética que aí se propaga. Deste modo é passível de ser aproveitado não só para comunicações extremo a extremo, como também entre extremo e qualquer emissor-receptor móvel que se situe na área de influência do cabo ou entre dois emissores-receptores móveis nessas condições.

Apresentam-se tipos de cabos que asseguram estas facilidades bem como as suas principais características electromagnéticas, com especial ênfase para os modos de propagação, atenuação radial dos campos e atenuação longitudinal.

Por fim tiram-se algumas conclusões sobre as características óptimas do cabo quer do ponto de vista electromagnético quer do ponto de vista prático de projecto.

abstract

Basically a «Leaky Cable» is a transmission line; it assures the propagation of electromagnetic waves with a certain level of field strength within a given radial distance. Therefore, it may be used either as a galvanic link between fixed positions along the cable or providing a special path between mobile emitter-receivers placed within the radial distance where communication facilities are to be provided.

Several types of cables and their electromagnetic characteristics will be presented, with special emphasis on the propagation modes and attenuation, both radially and axially.

Conclusions concerning the optimum characteristics of the cable, on both the electromagnetic and practical points of view, will be taken finally.

1 — INTRODUÇÃO

As comunicações por meio de «Cabos de Comunicação Contínua» (C.C.C.) apresentam vantagens especiais sobre os sistemas de radiação clássicos.

Basicamente, um C.C.C. é uma linha de transmissão que assegura, ao longo do seu comprimento e dentro de uma determinada distância radial, um certo nível da densidade de potência da onda electromagnética que aí se propaga. Deste modo é passível de ser aproveitado não só para comunicações extremo a extremo como também entre extremo e qualquer emissor-receptor móvel que se situe na área de influência de cabo ou ainda entre dois emissor-receptores móveis nessas condições (fig. 1).

As aplicações mais evidentes para este tipo de comunicação referem-se essencialmente a duas áreas: (1) ambientes onde a «propagação em espaço livre» é difícil ou impossível — minas, túneis do metropolitano, entre decks de navios, entre andares de edifícios de cimento armado, etc., e (2) áreas bem delimitadas onde assim se pode usar uma determinada frequência sem afectar seriamente o uso da mesma frequência em zonas vizinhas — ao longo de auto-estradas, linhas de caminho de ferro, estaleiros navais, aeroportos, etc.

As primeiras referências a este novo sistema apareceram por volta de 1970, apresentando essencialmente dados empíricos recolhidos em montagens experimentais; cedo se reconheceu a viabilidade e as vantagens operacionais deste novo tipo de comunicação,

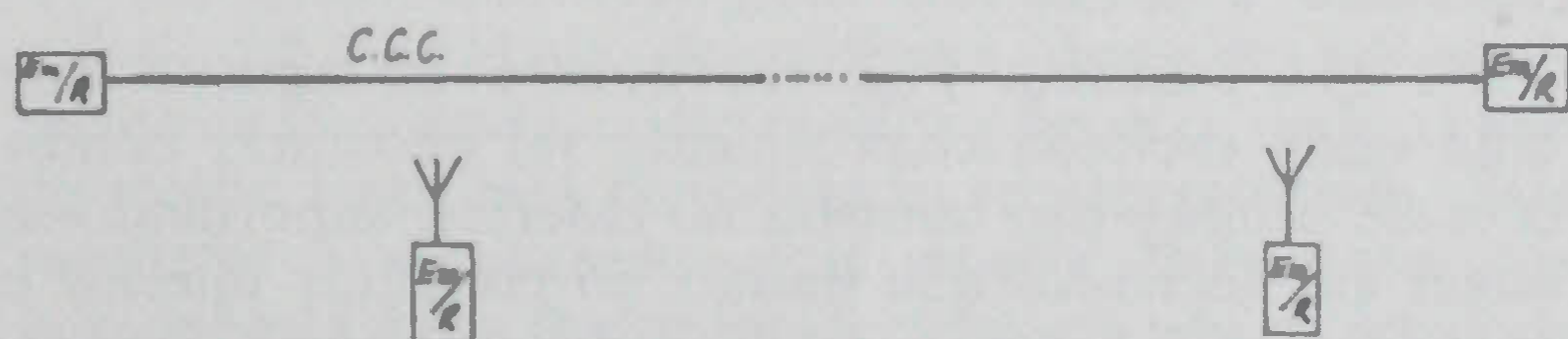


Fig. 1 — Representação esquemática dum sistema de comunicação de acesso contínuo.

apesar de só alguns anos mais tarde aparecerem modelos analíticos que permitiam explicar, de modo satisfatório, os fenómenos previstos e detectados.

Um dos principais pioneiros deste sistema, o inglês D. J. R. Martin, montou o primeiro serviço na mina escocesa de Longannet, em 1970; foi secundado em vários países nomeadamente na Bélgica, com aplicação prioritária em minas, no Japão, Alemanha e Estados Unidos, essencialmente em linhas, túneis e estações de caminho de ferro.

2 — DESCRIÇÃO DE ALGUNS CABOS

Numa primeira aproximação poder-se-á dizer que qualquer estrutura que guie uma onda electromagnética e simultaneamente permita que essa onda se propague ocupando uma área transversal exterior ao guia, pode ser considerada um C.C.C..

Considerando os guias conhecidos ter-se-á então que pôr de parte os cabos coaxiais e os normalmente designados «guias de onda»; por outro lado as linhas bifilares, guias de planos paralelos, guias Goubau e todos os outros cuja secção transversal é «aberta», servirão potencialmente para esse fim. A quase todos tem sido dedicado bastante trabalho experimental cujos resultados têm apontado para uma preferência pelos seguintes: (1) cabos coaxiais com fenda contínua longitudinal, (2) cabos coaxiais com fendas discretas, distantes comprimentos muito menores que o comprimento de onda, (3) cabos coaxiais com fendas que distem comprimentos comparáveis ao comprimento de onda e (4) cabos coaxiais cujo condutor exterior é uma malha larga (fig. 2).

A razão desta preferência depende do sistema particular de aplicação e em especial da frequência de utilização; no entanto, do ponto de vista estritamente electromagnético, a razão essencial da preferência por estruturas coaxiais, deriva do facto de estas permitirem que uma grande percentagem da onda electromagnética se propague dentro dessa estrutura, sem ser portanto grandemente afectada pelo ambiente, e simultaneamente que parte da energia acompanhe o guia no seu exterior, possibilitando assim a sua detecção.

Em artigos que estamos a preparar para publicação posterior apresentaremos estudos pormenorizados das condições de propagação e radiação ao longo de cabos com fenda longitudinal contínua e de malha larga, este último considerado em espaço livre sobre um plano condutor perfeito; nesta comunicação fazemos apenas uma descrição sumária das principais características da propagação ao longo destes cabos.

3 — CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA PROPAGAÇÃO

3.1 CABO COAXIAL COM FENDA LONGITUDINAL CONTÍNUA

O seu esquema (fig. 1a) mostra claramente que uma onda excitada coaxialmente vai encontrar condições de propagação também no exterior, suportando-se assim em correntes que fluirão no condutor interior e nas paredes interior e exterior do condutor exterior.

O modo fundamental será quase-TEM e a constante de propagação β será maior que a constante de

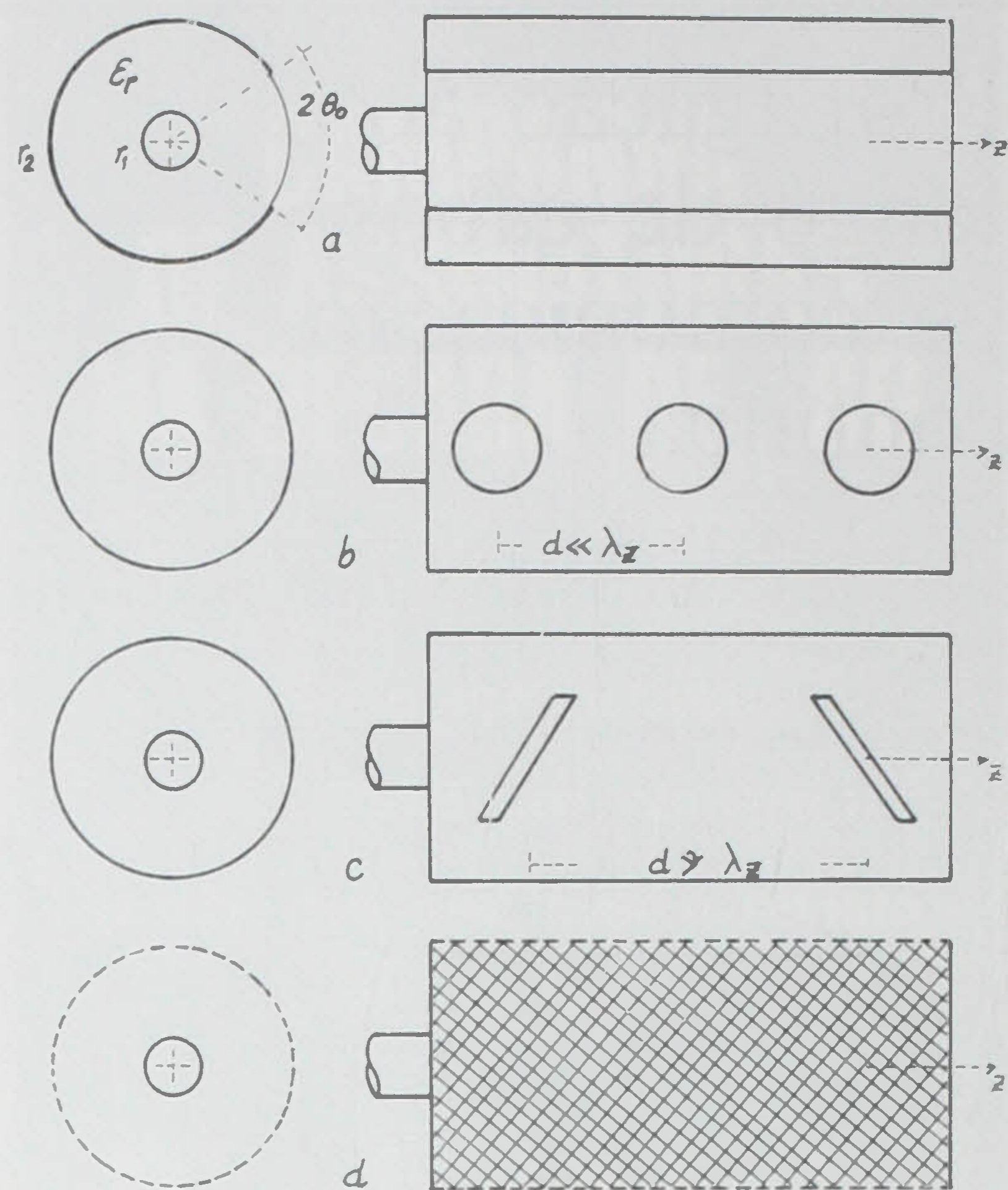


Fig. 2 — Tipos de cabos coaxiais de comunicação contínua: a — de fenda longitudinal contínua; b — de fendas distantes comprimentos muito inferiores ao comprimento de onda; c — de fendas distantes comprimentos da ordem ou superiores ao comprimento de onda; d — de condutor exterior de malha larga.

propagação em espaço livre k_0 , se o dieléctrico que preenche o cabo tiver $\epsilon_1 > \epsilon_0$; de acordo com este modelo analítico, temos assim uma onda que se propaga ao longo do cabo e não radia.

Uma análise modal deste modo, considerando-o como uma soma infinita de ondas propagando-se todas com a mesma velocidade ω/β , revelou que a constante de propagação era muito pouco afectada quer pela natureza do dieléctrico ($< 0,05\%$ para $\epsilon_r < 2,5$), quer pela razão entre os raios dos condutores ($< 0,1\%$ para $r_2/r_1 > 1,5$) quer ainda pela abertura da fenda ($< 3\%$ para $2\theta_0 < 180^\circ$); a impedância característica aumentava para cerca de 1,3 vezes o valor da do cabo coaxial equivalente (para um cabo de abertura 180° , $r_2/r_1 = 8$ e $\epsilon_r = 2,26$) mas este efeito era quase completamente anulado com a existência das protecções dieléctricas envolvendo o condutor exterior.

A distribuição da potência da onda entre o interior e o exterior da estrutura coaxial, depende essencialmente da frequência; em 100 MHz verificou-se que a influência da razão entre os raios era desprezável e que a natureza do dieléctrico também pouca importância tinha (para $2\theta_0 = 60^\circ$ a potência interior era de $95,7\%$ para $\epsilon_r = 2,26$ e $98,1\%$ para $\epsilon_r = 1,5$).

Em relação às perdas dum sistema deste tipo teremos que as dividir em dois grupos: as perdas no cabo (no condutor e no dieléctrico), e as perdas no ambiente que o envolve; em relação às primeiras, elas são pouco diferentes das do cabo coaxial equivalente: assim, para um cabo com uma razão entre raios de $8/1$, com um dieléctrico de polietileno sólido ($\epsilon_r = 2,26$), em

100 MHz, e com uma abertura de 60° , calculámos e medimos perdas na ordem dos 21 dB/km o que é pouco menos das verificadas no cabo coaxial equivalente; esta pequena diferença é facilmente entendível se tivermos em consideração que a densidade de energia é menor no meio dieléctrico, e que a corrente no condutor exterior se distribui não só pela superfície interior como também pela superfície exterior do condutor externo. Para uma abertura de 180° a diferença é diminuta.

Aquele valor terá que ser multiplicado por um factor quando quisermos tomar em consideração as perdas introduzidas pelo ambiente; assim, se o cabo estiver enterrado num terreno húmido podemos ter acréscimos na ordem dos 30% e se estiver envolvido em alcatrão na ordem dos 20%.

O nível da densidade de potência ao longo duma direcção radial é um dos parâmetros de maior relevância para um sistema deste tipo. Efectivamente, é duma maior ou menor atenuação radial dos campos que depende a área a beneficiar das facilidades de comunicação que o sistema permite. Infelizmente é neste aspecto que aparece uma maior discrepância entre os resultados teóricos e as medições em campo. As causas dessas diferenças podem ser sistematizadas, o que faremos em pormenor num próximo artigo. No entanto, poderemos dizer resumidamente que são devidas a dois tipos de fenómenos: (1) uma onda lenta ($\beta > k_0$), não radiante, como o modo quase-TEM estudado, dá origem, numa descontinuidade, a modos mais elevados, evanescentes ou rapidamente atenuados na direcção longitudinal e radiantes numa direcção transversal; num sistema real tais descontinuidades aparecem não só nos extremos do cabo como ao longo do seu comprimento em defeitos e em curvas; (2) na grande maioria dos casos reais o cabo não pode ser considerado em espaço livre, de modo que a presença da «terra» vai dar origem a um segundo modo que, de acordo com as características electromagnéticas dessa «terra», poderá ser uma onda lenta ou uma onda rápida ($\beta < k_0$), radiante; as irregularidades do terreno terão também efeitos semelhantes aos do primeiro tipo.

Desta maneira, as medições feitas ao longo do cabo vão dar uma irregular «onda estacionária» em vez dum valor constante atenuado de acordo com a lei de atenuação prevista na teoria. Em medições transversais também o campo não se atenua tão rapidamente quanto a teoria prevê, pois a radiação directa proveniente dos extremos e das descontinuidades, aliada ao efeito da existência de um segundo modo porventura radiante, vão manter um nível de sinal muito para além da distância radial coberta pelo campo ligado ao modo quase-TEM estudado.

A teoria prevê atenuações radiais pouco influenciáveis pelos parâmetros do cabo, tal como o mostram as figuras 3 e 4. Na prática, como dissemos, essas atenuações são menores, o que em certos casos é útil enquanto que noutros é uma séria desvantagem.

A principal limitação deste modelo refere-se à ausência do plano da «terra». No sentido de o incluir num modelo analítico estudámos o cabo coaxial de malha larga que, em virtude da sua simetria circular, permite uma resolução formalmente mais simples. Algumas das mais importantes conclusões desse estudo são apresentadas no ponto seguinte.

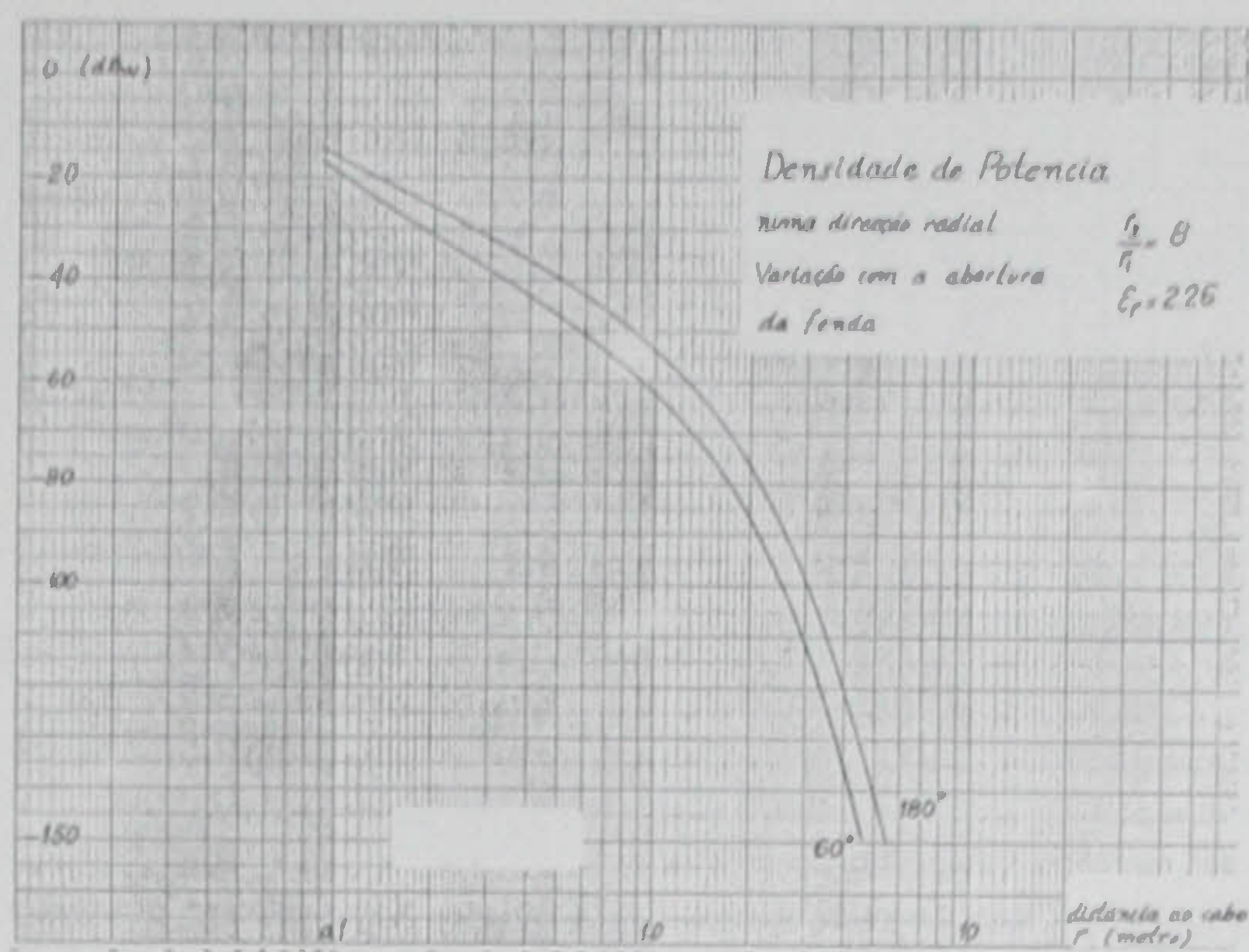


Fig. 3 — Cabo coaxial de fenda longitudinal contínua. Variação da densidade de potência, numa direcção radial, com a abertura da fenda.

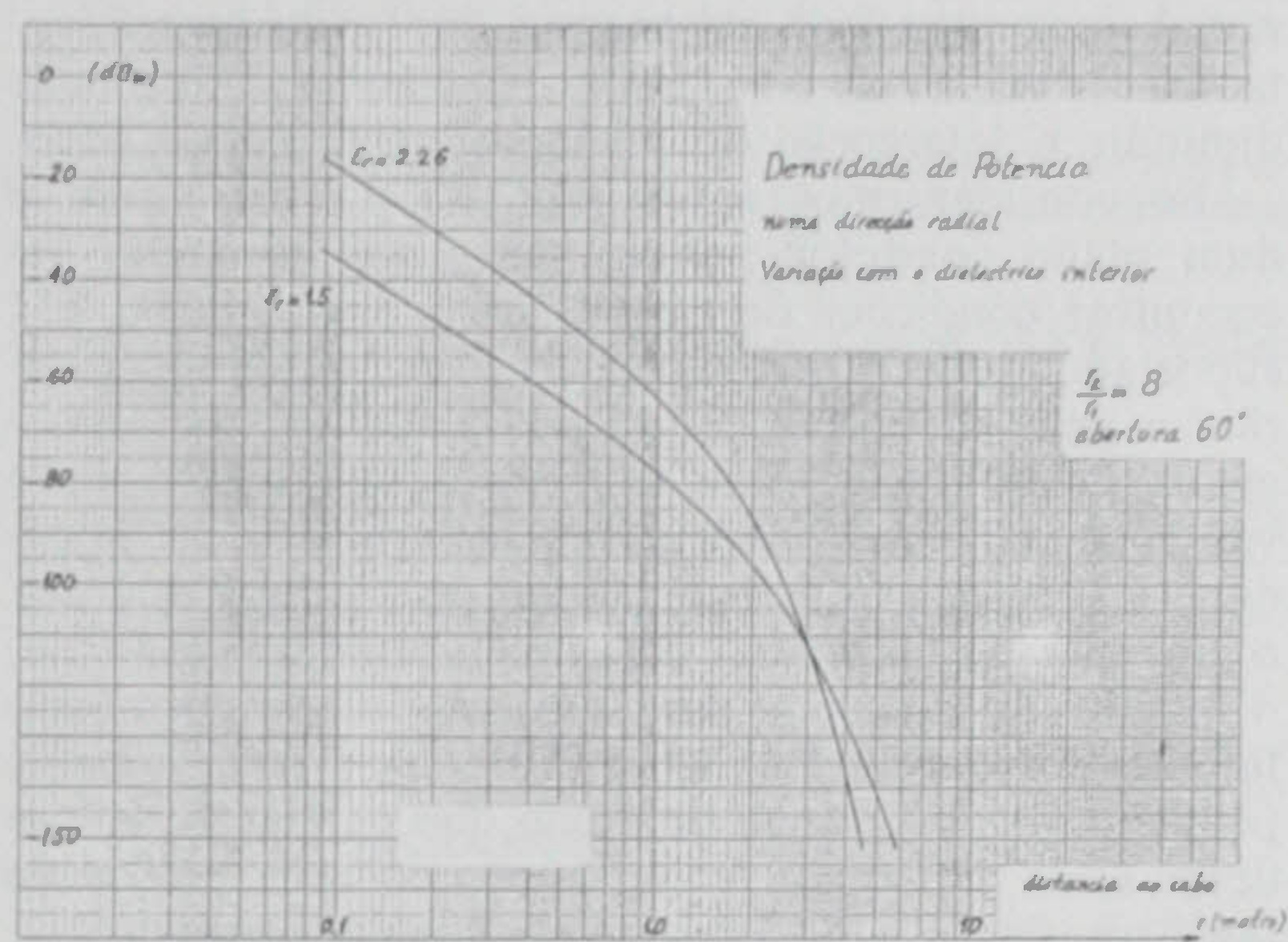


Fig. 4 — Cabo coaxial de fenda longitudinal contínua. Variação da densidade de potência, numa direcção radial, com o dieléctrico interior.

3.2 CABO COAXIAL DE MALHA LARGA A UMA ALTURA d DUM PLANO CONDUTOR PERFEITO

Um cabo coaxial de malha larga (fig. 1b) a uma altura d dum plano condutor perfeito admite a propagação de um modo TM sem frequência de corte, se o condutor exterior for uma superfície caracterizada por uma determinada impedância superficial e por uma impedância de transferência entre as superfícies interior e exterior. Este modo propaga-se no interior e no exterior da estrutura coaxial, com características semelhantes às encontradas para o modo quase-TEM no cabo de fenda longitudinal contínua.

Tal como acontecia para esse cabo, a atenuação radial da densidade de potência depende essencialmente da frequência, como mostra a figura 5, onde o cabo de malha larga está considerado em espaço livre. Este resultado é significativo pois mostra claramente que a frequência é um factor importante quando se pretende que um cabo cubra uma área especificada. É importante mencionar que, embora para mais baixas fre-

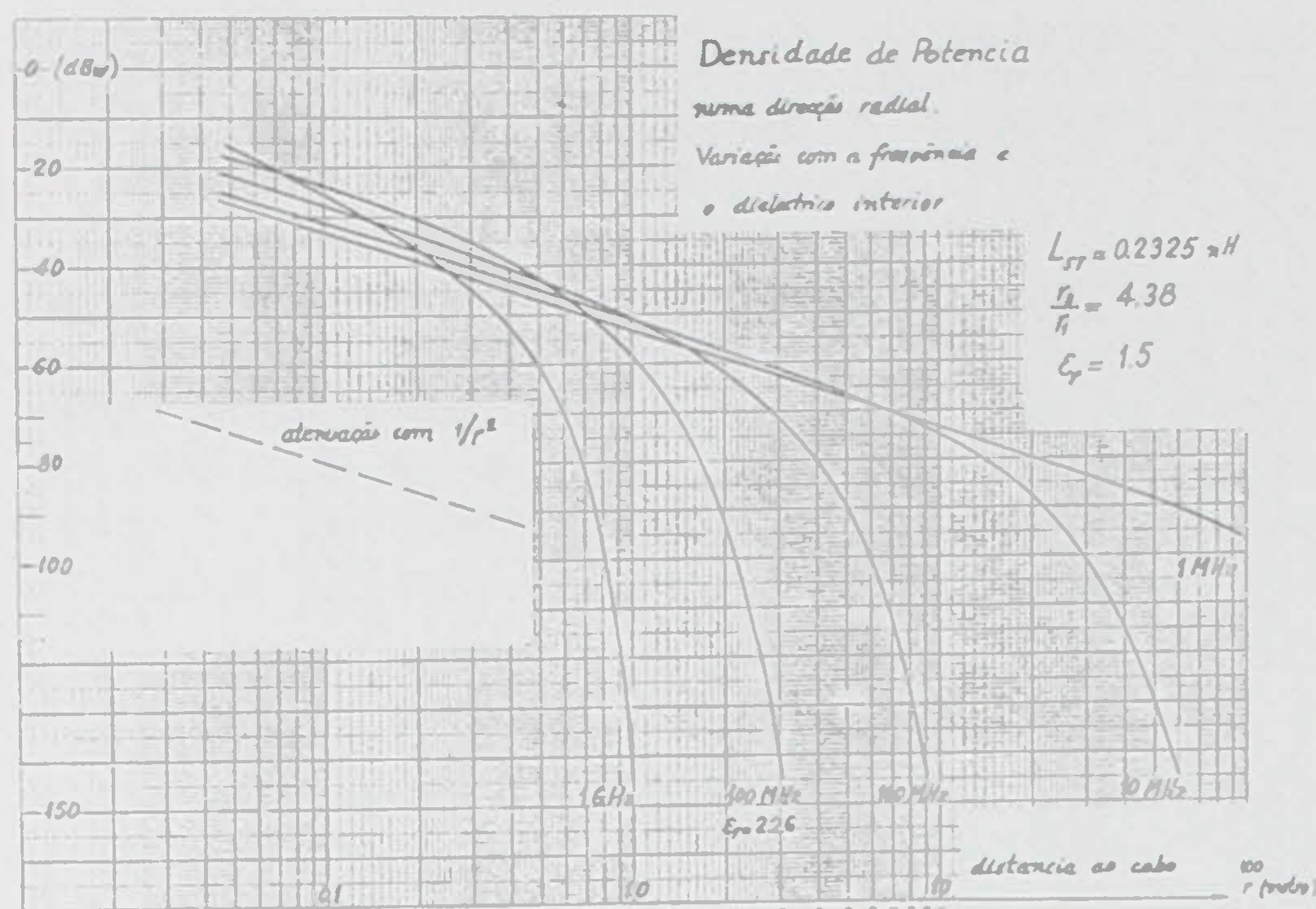


Fig. 5 — Cabo coaxial de malha larga em espaço livre. Variação da densidade de potência do modo coaxial (TM), numa direcção radial, com a frequência e o dieléctrico interior.

quências o campo se atenua mais lentamente na direcção radial, a percentagem de energia que se propaga dentro da estrutura coaxial é maior, o que tem a vantagem de diminuir a interacção do meio ambiente com a onda.

Se considerarmos agora o cabo a uma altura d dum plano condutor perfeito um segundo modo vai encontrar condições de propagação; é um modo TM suportado pela superfície externa do condutor exterior e pela superfície condutora plana (ou pela imagem do cabo). A constante de propagação deste modo vai depender essencialmente da altura d e da impedância superficial da malha, mas será menor que k_0 , o que faz deste modo uma onda rápida e radiante; o ângulo de radiação, para um cabo de comprimento infinito do tipo normalmente utilizado, é relativamente pequeno (alguns graus), de modo que os planos de fase desta onda são quase coincidentes com os planos de fase, transversais, da onda lenta do modo coaxial.

Um dos parâmetros fundamentais deste cabo é a sua impedância superficial de transferência, $Z_{ST} = j\omega L_{ST}$; é uma medida da «cobertura electromagnética» que a malha do condutor exterior assegura; assim, uma malha larga, de cobertura óptica por volta dos 37%, apresenta uma auto-indução superficial de transferência, L_{ST} , na ordem dos 0,8 nH, enquanto que uma cobertura óptica da ordem dos 65% equivale a uma auto-indução superficial de transferência de cerca de 0,11 nH.

Na medida em que a malha do condutor exterior se alarga o modo coaxial tem tendência a propagar-se em maior percentagem no exterior, facto que é reforçado pela proximidade do plano de terra, considerado como condutor perfeito; a impedância característica do cabo (modo coaxial) é assim afectada pelas características electromagnéticas da malha (L_{ST}) e pela distância do cabo ao plano de terra (d): para cabos com $L_{ST} \simeq 0,1$ nH e a 5 cm do plano condutor perfeito, a impedância característica baixa de cerca de 10% em relação ao valor da do cabo coaxial equivalente. Esta diferença é pequena. No entanto, em cabos de malha muito larga ($L_{ST} > 0,3$ nH), a teoria aponta para reduções drásticas da impedância característica quando o sistema é projectado para usar um cabo assente no solo.

Pelas mesmas razões também a teoria aponta para

uma redução das perdas no condutor interior. No entanto, uma vez que quando a malha se alarga o perímetro efectivo do condutor exterior diminui, aquela redução de perdas vai ser compensada por um aumento no condutor exterior, o qual suporta não só o modo coaxial como também o modo bifilar radiante. Assim, poderemos considerar as perdas da mesma ordem de grandeza das do cabo coaxial equivalente.

Finalmente vejamos o que a teoria prevê para a atenuação radial dos dois modos que se propagam nesta estrutura.

Do ponto de vista estritamente electromagnético poderemos concluir o seguinte sobre a influência dos parâmetros L_{ST} e d : a diminuição da altura d acima do solo (plano condutor perfeito) provoca um aumento da atenuação radial, diminuindo portanto a área de influência do cabo. Uma fraca cobertura electromagnética (L_{ST} grande) dá origem a mais elevados valores da densidade de potência na proximidade imediata do cabo mas provoca uma maior atenuação radial, de modo que a área coberta pela influência do cabo é sensivelmente a mesma. Se combinarmos a altura d com a auto-indução superficial de transferência, poderemos dizer que para pequenos valores de d uma maior área de influência é conseguida com um cabo de fraca cobertura, enquanto que, para maiores alturas uma maior área é coberta por cabos de malha mais estreita. É importante repetir que se trata de conclusões puramente teóricas, resultado da análise de um modelo cuja realidade física é, em certos aspectos, muito fraca.

4 — CONCLUSÕES

Este sistema de comunicação de acesso contínuo assegura a transmissão de informação quer ponto a ponto (por ligação galvânica através do cabo) quer entre emissor-receptores móveis situados na área de influência do cabo. Apresenta as seguintes vantagens sobre os sistemas clássicos: (1) pode ser utilizado em ambientes onde as condições de «propagação em espaço livre» são más e (2) em situações onde se pretende que a possibilidade de comunicação esteja limitada a uma determinada área.

Os C.C.C. mais usados são do tipo coaxial nos quais o condutor exterior apresenta aberturas cuja forma é muito variável. Assim, um cabo excitado coaxialmente vai permitir que uma onda se propague não só por dentro da estrutura coaxial mas também no seu exterior; é este campo exterior que vai permitir a comunicação entre um emissor-receptor móvel, existente na vizinhança do cabo, com um segundo emissor-receptor algures ao longo do seu comprimento ou com emissor-receptores fixos localizados nos extremos.

A atenuação axial da onda é da ordem das atenuações previstas para cabos coaxiais equivalentes e a atenuação radial do campo exterior depende, segundo um ponto de vista estritamente teórico, essencialmente do valor da frequência, podendo cobrir alguns metros em UHF ou centenas de metros em LF.

Do ponto de vista do sistema um projecto em baixa frequência tem a vantagem de oferecer menores perdas, diminuindo a necessidade de repetidores ao longo do cabo, podendo no entanto a especificação de uma grande largura da banda obrigar a frequências elevadas.

Um exemplo clássico de aplicação destes cabos é o sistema montado no edifício da Bolsa de Londres: com uma distribuição de cabos adequada ao edifício qualquer indivíduo que possua um emissor-receptor de bolso sintonizável em um número n de frequências pode comunicar de qualquer local com qualquer um dos n indivíduos que possuam idênticos aparelhos. Na medida em que se consegue delimitar razoavelmente a área de influência do sistema, os canais ocupados podem-se sobrepor a outros utilizadores.

Dado o carácter de apontamento que lhe conferimos, contamos fazer a divulgação de aspectos teóricos e práticos, ligados a este sistema, em alguns artigos posteriores de natureza mais específica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Very-High-Frequency Radio Communication in Mines and Tunnels*, D. J. R. Martin, Tese de Ph. D. Universidade de Surrey, Janeiro 1973.
- [2] Extracto do Relatório de «New York City Transit Authority on Two-way Radio Communication Mass Transportation Demonstration Project», Capítulo III, «Enginnering».
- [3] *Highway Communication using Wide-band Cable and Inductive Transmission Methods*, W. D. Halstead and R. A. Mazzola. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-19, N.º 1, Fevereiro 1970.
- [4] *A Backbone Highway Communications System Using Coaxial Cable*, Charles N. Link Jr. and J. F. Byrne. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-19, N.º 1, Fevereiro 1970.
- [5] *Measurements of Leaky Coaxial Cables and Possible Applications to Train Communication*. Relatório N.º FRA-ORD e D-74-43, U. S. Department of Transportation.
- [6] *The surface-Wave Transmission Line and Its Use in Communicating with High-speed Vehicles*, R. L. Gallawa et al. IEEE Transactions on Communication Technology, Vol. COM-17, N.º 5, Outubro 1969.
- [7] *Investigations with a Model Surface-wave Transmission Line*, G. Goubau, and C. E. Sharp. IRE Transaction on Antennas and Propagation, Abril 1957.
- [8] *Theory of Transmission of Electromagnetic Waves along Multiconductor Lines in the Proximity of Walls of Mine Tunnels*, J. R. Wait. The Radio and Electronic Engineer, Vol. 45, N.º 5, Maio 1975.
- [9] *Propagation Along a Braided Coaxial Cable in a Circular Tunnel*, J. R. Wait and D. A. Hill. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. MIT-23, N.º 5, Maio 1975.
- [10] *Geometrical Optimal for Electromagnetic Wave Propagation in Rectangular Mine Tunnels*, S. F. Mahmoud and J.R. Wait. Radio Science, Vol. 9, No. 12, Dezembro 1974
- [11] *Electromagnetic Fields of a Dielectric Coated Coaxial Cable with an Interrupted Shield — Quasi-Static Approach*, J.R. Wait and D.A. Hill. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Setembro 1975
- [12] *Theory of the Transmission of Electromagnetic Waves Down a Mine Hoist*, J.R. Wait and D.A. Hill. Radio Science, Vol. 10, No. 6, Julho 1975
- [13] *Theory of EM Wave Propagation Through Tunnels*, J.R. Wait. Radio Science, Vol. 10, No. 7, Julho 1975
- [14] *On the Electromagnetic Field of a Dielectric Coated Coaxial Cable with an Interrupted Shield*, J. R. Wait and D.A. Hill. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. AP-23, No. 4, Julho 1975
- [15] *Electromagnetic Fields of a Coaxial Cable with an Interrupted Shield Located in a Circular Tunnel*, D.A. Hill and J.R. Wait. Journal of Applied Physics, Vol. 46, No. 10, Outubro 1975
- [16] *Highway Communication System using Guidance Cable*, Shuntitsu Matsumoto, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-20, No. 1, Fevereiro 1971
- [17] *New Induction Radio System*, K. Takahashi, T. Nakahara et al. IEEE International Conference on Communications, Junho 1969, Boulder — Colorado
- [18] *Wideband Leaky Coaxial Cables*, Noritaka Kurauchi et al. Electronics and Communications in Japan, Vol. 54-B, No. 11, 1971
- [19] *Leaky Coaxial Cable at VHF and its Application to Vehicular Communications*, Tatsuo Yoshiyasu et al. Proc. of 19th Int. Wire & Cable Symposium, Atlantic City, Dezembro 1970
- [20] *Various Types of Open Waveguides for Future Train Control*, Tsuneo Nakahara, Noritaka Kurauchi. IEEE Conference Record 1968, IEEE International Conference on Communications
- [21] *Leaky Coaxial Cable for Communication in High Speed Railway Transportation*, S. Okada et al. The Radio and Electronic Engineer, Vol. 45, No. 5, Maio 1975
- [22] *Radio Communication in Mines and Tunnels*, D.J.R. Martin, Electronics Letters, Vol. 6, No. 18, Setembro 1970
- [23] *A General Study of the Leaky-Feeder Principle*, D.J.R. Martin, The Radio and Electronic Engineer, Vol. 45, No. 5, Maio 1975
- [24] *Full coverage of the Mine by Line-Propagated VHF Radio*, D.J.R. Martin, Mining Technology, Novembro 1970
- [25] *A Practical VHF Radio System for Complete Coverage of the Mine*, D.J.R. Martin, EEC Conference on «Automation in Coal Mines», Luxembourg, Maio, 1972
- [26] *Systems Aspects of Leakage-Field Communication*, D.J.R. Martin. IERE Conference Proceedings No. 33, «Civil Land Mobile Radio», Novembro 1975
- [27] *Practical Performance of Radiating Cables*, D.J. Cree and L.J. Giles. The Radio and Electronic Engineer, Vol. 45, No. 5, Maio 1975
- [28] *Some Engineering Considerations Affecting the Use of Radiating Cables in Communications between Vehicles and Traffic Control Centres*, A.S.C. Fernandes, P.O. Harms and R. Johannessen. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems, University of Surrey, Abril 1974
- [29] *Experimental Modelling of Leaky Feeders*, R. W. Haining. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems. University of Surrey, Abril 1974
- [30] *Feasibility of a Two-Way Mobile Radio Communication in Tunnels by Means of a Leaky Braided Coaxial Cable*, J. Fontaine et al. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems, University of Surrey, Abril 1974
- [31] *Leaky Coaxial Cables for Radio Communication at Traffic Services*, Otto Breitenbach. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems, University of Surrey, Abril 1974
- [32] *Performance of a Slotted Coaxial Cable for Radio Communications in Mines*, R. W. Jones. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems. University of Surrey, Abril 1974
- [33] *Improvements of a two-way Mobile Radio Communication in Tunnels by Means of a Leaky Braided Coaxial Cable*, J. Fon-

- taine et al. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems, University of Surrey, Abril 1974
- [34] *Some Properties of Slotted Coaxial Cables*. A.H. Cribbens. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems, University of Surrey, Abril 1974
- [35] *Field Leakage and Crosstalk with Special Reference to Radiating Cables with Perforated Tape Screens*. R. J. Slaughter. The Radio and Electronic Engineer, Vol. 45, No. 5, Maio 1975
- [36] *Leaky Cables Treated as Open Waveguides*. V. Rawat and J.C. Beal. Symposium on Leaky Feeder Radio Communication Systems. University of Surrey, Abril 1974
- [37] *Propagation of Radio Electric Waves Underground*. Technical Bulletin for Mines and Quarries, Nation Institute for the Mining and Quarryng Industries, Belgica
- [38] *Control of Mode Conversions on Bifilar Line in Tunnels*. L. Derick. The Radio and Electronic Engineer, Vol. 45, No. 5, Maio 1975
- [39] *Télécommunications Souterraines et Telecommande par Radio dans la Mine*. R. Liegeois. Inix Bull. Techn. «Mines et Carrières 117, 3, 1968
- [40] *Etude des modes de Propagation d'ondes electromagnétiques susceptibles d'exister sur une ligne bifilaire en milieu souterrain*. L. Derick. Ann. Mines Belg. No. 718, 939, 1970
- [41] *Propagation des Ondes Electromagnetiques dans une galerie Souterraine*. R. Gabillard. Rev. Ind. Minerale. 52,83, 1970
- [42] *Electromagnetic Theory of Leaky Coaxial Cable*. P.P. Delogne. The Radio and Electronic Engineer, Vol. 45, No. 5, Maio 1975
- [43] *Radiating Cables for RITA*. Final Repor, Part 1 — Standard Telecommunication Laboratories, Fevereiro 1975 (Confidencial)
- [44] *Distributed Aerials for Communications in Restricted Locations — (Radiating Cables) — Part 1*. Standard Telecommunication Laboratories, Junho 1973 (Confidencial)
- [45] *Radiating Cables for RITA*. Final Report, Part 2, Standard Telecommunication Laboratories, Fevereiro 1975 (Confidencial)
- [46] *Feasibility of a Radiocommunication in Mine Galleries by Means of a Coaxial Cable, having a high Coupling Impedance*. J. Fontaine et al. Through the Earth Electromagnetics
- [47] *The Radiation Characteristics of Leaky Coaxial Cables at VHF*. J.L. Eaton and M.J. Kallaway, BBC RD 1973/31, Novembro 1973
- [48] *A Surface-wave Transmission Line for Vehicular Communications*. U.S. Department of Transportation, Boulder, Colorado, Fevereiro 1970
- [49] *Communication with Moving Trains in Tunnels*. Newton Monk and H.S. Winbigler, IRE Transactions VC-7, Dezembro 1956
- [50] *Radiating RF Cables for Underground Transport Radio-communication Systems*. Max Hahn and Hans Haselhorst, Siemens Review XXXVI (1969) No. 9
- [51] *Distributed Aerials for Communications in Restricted Locations — (Radiating Cables)*. Part 2. Standard Telecommunication Laboratories, Novembro 1974 (Confidencial)
- [52] *Antennas Buried in a Roadway for Vehicular Traffic Communications*. F.P. Zidkowsky and Carson K.H. Tsao. IEEE Transactions VT-20, No. 4, Novembro 1971
- [53] *The Possible Impact on Spectrum Conservation of Radiating Cable Systems Carrying Speech and Data for Road and Rail Transportation*. P.M. Deane, IERE Conference Proceedings No. 33, «Civil Land Mobile Radio», Novembro 1975
- [54] *The Bicoaxial Leaky Line and its Applications to Underground Radio Communication*. D.J.R. Martin, Radio Science, Vol. 11, No. 10, p.p 779-785, Outubro 1976
- [55] *On the Electromagnetic Field of a Dielectric Coated Coaxial Cable with an Interrupted Shield*. James R. Wait, David A. Hill, IEEE Trans. vol. AP-23, No. 4, Julho 1975
- [56] *Electromagnetic Field Analysis for a Coaxial Cable with Periodic Slots*. James R. Wait, IEEE Trans. Vol. EM-19, No. 1, Fevereiro 1977
- [57] *Attenuation on a Surface wave G-line, Suspended within a Circular Tunnel*. James R. Wait e David A. Hill. Journal of App. Phys., Vol. 47, 12, Dezembro 1976
- [58] *Excitation of a Coaxial Cable on Wire Conductor Located Over the Ground by a Dipole Radiator*. James R. Wait. AE U Archiv Für Elektronik und Übertragungstechnik, Band 31 (1977) p.p. 121-127
- [59] *Studies of the Propagation and Radiation Characteristics of Leaky Cables*. Tese de Ph. D., Universidade de Surrey 1976. António Simão de Carvalho Fernandes.

CAMPAÑA DE ASSINATURAS NA DÉCADA DE 80

Faça a sua assinatura anual de

Electricidade
energia • electrónica

Basta enviar um cheque ou vale postal à EDEL
Rua Dona Estefânia, 48 - 3.º Esq.º — 1000 LISBOA

12 números apenas por 400\$00