

# **ESTUDO PARA A UTILIZAÇÃO DE REDES SEM FIO EM AMBIENTE INDUSTRIAL – SIMULAÇÃO DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DO MÉTODO TLM**

**Fábio Brignol de Moraes(1); Marcos Junior Marini (2) & Neury Boaretto(3)**

(1) Eng. Eletricista, Professor do Curso de Tecnologia em Automação de Processos Industriais, UTFPR – Campus Pato Branco. (2) Tecnólogo em Processamento de Dados, Msc. Tec. da Informação, Professor do Curso de Tecnologia em Automação de Processos Industriais, UTFPR – Campus Pato Branco. (3) Eng. Eletricista, Msc. Engenharia de Produção, Professor do Curso de Tecnologia em Automação de Processos Industriais, UTFPR – Campus Pato Branco.

[fbrignol@pb.cefetpr.br](mailto:fbrignol@pb.cefetpr.br); [marini@pb.cefetpr.br](mailto:marini@pb.cefetpr.br); [neury@pb.cefetpr.br](mailto:neury@pb.cefetpr.br)

**Resumo** - o presente trabalho objetiva simular o comportamento das ondas eletromagnéticas na frequência de 2,4 GHz, utilizadas em redes sem fio para ambientes industriais. Neste propósito é utilizada uma ferramenta de simulação eletromagnética baseada no método numérico TLM. A simulação consiste na modelagem do leiaute de um setor industrial, considerando a infra-estrutura física, o mobiliário e os equipamentos de processos e redes, possibilitando assim, auxiliar aos projetistas na elaboração do layout dos processos industriais e a alocação de transmissores e receptores de redes.

**Palavras-Chave** - redes industriais, Wireless LAN, método numérico TLM, simulação de ondas eletromagnéticas, redes sem fio.

# ESTUDO PARA A UTILIZAÇÃO DE REDES SEM FIO EM AMBIENTE INDUSTRIAL – SIMULAÇÃO DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS POR MEIO DO MÉTODO TLM

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho objetiva simular o comportamento da distribuição de ondas eletromagnéticas em um ambiente industrial, por meio da verificação das frequências utilizadas em redes locais de comunicação de dados sem fio (*wireless LAN*), padronizada pelos protocolos de comunicação 802.11b e 802.11g.

Para esse propósito é utilizada uma ferramenta de simulação eletromagnética baseada no método numérico TLM (*Transmission Line Matrix Method*) (HOEFER 1985; FACCIONI FILHO, 1997; FERMINO, 1998) Basicamente, o método TLM tem como fundamentos o Princípio de Huygens, associado ao equacionamento de Linhas de Transmissão. É um método similar ao das Diferenças Finitas (FDTD), tendo a diferença de que o TLM faz analogias com circuitos elétricos e a FDTD com conceitos puramente matemáticos.

A simulação consiste na modelagem do leiaute de um setor industrial, considerando a infra-estrutura física, o mobiliário e os diversos equipamentos de processos e redes, por meio da utilização das características e propriedades dos seus materiais, como permeabilidade, permissividade, condutividade e dimensões. Para isto, é realizado um estudo com a modelagem do espaço físico utilizando o laboratório de usinagem do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, da UTFPR-Universidade Tecnológica do Paraná, campus de Pato Branco.

Para possibilitar gerar os dados de teste para a pesquisa, é simulada a utilização de uma fonte de sinal similar ao uso de uma antena onidirecional com transmissor de até 1W de potência, utilizando técnica de modulação digital *spread spectrum* para WLAN (*wireless LAN*) na faixa de frequência simulada de 2,4 a 2,483GHz. É importante destacar que esta faixa de frequência não

necessita de licença pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), sendo destinada às aplicações industriais, científicas e médicas (ISM).

O trabalho está organizado em seções, iniciando com uma breve fundamentação teórica sobre *Wireless* LAN, seus protocolos mais utilizados e a técnica de modulação *spread spectrum*. Na seqüência é descrito o método numérico TLM, o qual permite a simulação do comportamento das ondas eletromagnéticas em ambientes de redes sem fio. A seguir, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa, os resultados obtidos com as simulações realizadas e as respectivas análises e discussões sobre as possíveis indicações para o uso de redes sem fio em ambientes industriais.

## 2. WIRELESS LAN - REDES DE COMPUTADORES SEM FIO

A rede *wireless* (*wire*=fio, *less*=sem) é um sistema de transmissão de dados flexível que pode ser utilizada como alternativa para as redes cabeadas. É uma tecnologia que permite a conexão entre equipamentos sem uma conexão física (PROENÇA, 2002). Segundo Tanenbaum (1997), “para os usuários móveis, o par trançado, o cabo coaxial e a fibra ótica não têm a menor utilidade. Eles precisam transferir dados para os seus computadores, *laptop*, *notebook*, *palmtop*, de bolso ou de pulso sem depender de infra-estrutura de comunicação terrestre”.

Uma WLAN é uma rede *wireless* que atende a uma área menor (LAN), com o objetivo de manter conectados todos os equipamentos de informática que se encontram no local, como pode ser visto na figura 1. Por meio de um ponto de acesso, criou-se uma área de cobertura *wireless*, conectada a rede local padrão *Ethernet*.

Esta é uma das aplicações mais populares para a tecnologia *wireless*, em que se utilizam ondas de rádio para interligação de pontos de redes locais (LANs). Esta tecnologia permite ajustar e gerenciar a rede sem se preocupar com

instalações de cabamentos, o que facilita e simplifica o processo de instalação da rede.

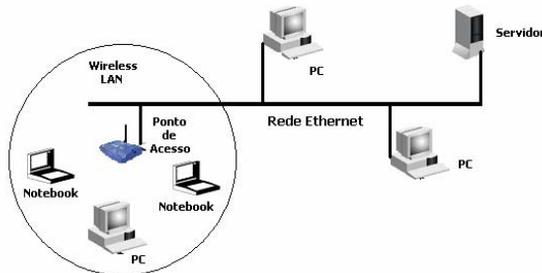


Figura 1 – Arquitetura de uma rede local com Wireless

Para os protocolos da comunicação sem fio, atualmente existem diversas versões do padrão (inicialmente denominado IEEE 802.11), como o IEEE 802.11a, que possibilita taxa de transmissão de até 54 Mbps, o IEEE 802.11b, padrão extensamente utilizado nos dias de hoje e que permite uma taxa de transmissão de 11 Mbps, e ainda destaca-se o padrão IEEE 802.11g, que foi aprovado recentemente e que juntou as melhores características dos dois outros padrões, ou seja, a taxa de dados do IEEE 802.11a, com a frequência do 802.11b, resultando em uma taxa de transmissão máxima de 54 Mbps na frequência de 2.4 GHz, permitindo assim, a compatibilidade do IEEE 802.11b.

A maioria dos sistemas sem fio via radio utilizam a faixa dos 2,4GHz, que permite velocidades de 11Mbps ou até superiores. Esta faixa também é considerada “livre”, sendo a princípio, destinada para uso industrial, científico e médico (ISM). Quanto à banda de frequência, assim como o mecanismo de modulação usado para transmissão nas redes sem fio, atualmente a tecnologia Spread Spectrum é a mais usada. Espalhamento espectral (Spread spectrum) é uma tecnologia de transmissão digital sem fio na qual a energia média do sinal transmitido é espalhada sobre uma largura de faixa muito maior do que a largura de faixa que contém a informação. Os sistemas que empregam tal tecnologia compensam o uso de uma maior largura de faixa de

transmissão com uma menor densidade espectral de potência e uma melhora na rejeição aos sinais interferentes de outros sistemas que operam na mesma faixa de frequência (ANATEL, 2004).

Devido à sua própria natureza, os canais de rádio que operam em espalhamento espectral conseguem funcionar adequadamente em ambientes agressivos, do ponto de vista eletromagnético, onde os sistemas com modulação tradicional tendem a falhar.

A técnica de modulação de Spread Spectrum pode ser implementada por meio dos seguintes processos: Salto de Frequência (Frequency Hopping) e Seqüência Direta (Direct Sequence).

Na técnica de spread spectrum empregando a tecnologia por saltos de frequência, a informação transmitida “salta” de um canal para outro numa seqüência chamada de pseudo-aleatória. Esta seqüência é determinada por um circuito gerador de códigos “pseudo-randômicos” que na verdade trabalha num padrão pré-estabelecido. O gerador de código deve ser síncrono no transmissor e receptor, o que é obtido por um sinal piloto de sincronização. O receptor por sua vez deve estar sincronizado com o transmissor, ou seja, deve saber previamente a seqüência de canais onde o transmissor vai saltar para poder sintonizar estes canais e receber os pacotes de informações transmitidos. Se algum canal estiver sofrendo interferência por ruídos, a informação ainda pode ser recuperada pelo processamento dos outros canais da seqüência dos saltos (FLEMING, 2001); (OLIVEIRA, 2003).

A outra técnica de spread spectrum consiste na aplicação da tecnologia de seqüência direta, o sinal de informação é misturado a um sinal codificador com característica pseudo-randômica, conhecido como “chip sequence” ou “chip rate”. O sinal codificador é um sinal binário gerado numa frequência muito maior do que a taxa do sinal de informação. A saída do modulador conterà, portanto, a informação espalhada pelo sinal codificador. No receptor o sinal de informação é recuperado através de um processo complementar usando um gerador de código local similar e sincronizado com o código gerado na transmissão. Em razão da

utilização de uma grande largura de banda para transmissão, os sistemas em seqüência direta dispõem de poucos canais dentro da banda. Adicionalmente, uma característica desta técnica é que múltiplos transmissores e receptores podem ocupar a mesma porção do espectro utilizando códigos diferentes (FLEMING, 2001); (OLIVEIRA, 2003).

### **3. O MÉTODO NUMÉRICO TLM**

O método TLM foi apresentado à comunidade científica em 1971, numa formulação bidimensional TLM-2D, pelos pesquisadores P. B. Johns e R. L. Beurle (JOHNS & BEURLE, 1971). Nos últimos anos, porém, o TLM tem experimentado uma evolução significativa em sua formulação, despertando, inclusive, o interesse em sua utilização na resolução das equações de Maxwell no domínio do tempo, em casos gerais, da propagação de ondas eletromagnéticas. Sendo um método numérico diferencial pelo qual é representada a propagação de ondas, no domínio do tempo, o TLM é apropriado ao estudo de ondas milimétricas e microondas.

Basicamente, o método TLM tem como fundamentos o Princípio de Huygens. Segundo sua formulação, cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado como a fonte de uma onda esférica secundária (JOHNS & BEURLE, 1971; HOEFER, 1985; CHRISTOPOULOS, 1995), e está associado ao equacionamento de Linhas de Transmissão. É um método similar ao das Diferenças Finitas (FDTD). Diferencia-se do método FDTD, porque faz analogias com circuitos elétricos (linhas de transmissão), enquanto aquele (FDTD) soluciona diretamente as equações de Maxwell, para os campos eletromagnéticos no espaço discretizado (HOEFER, 1985; FACCIONI FILHO, 1997).

O sistema de propagação da energia, em uma malha TLM, em duas dimensões, é formado pelo processo de espalhamento da energia em um nó, seguido do processo de conexão dessa energia com os ramos seguintes de outros nós, demonstrado na figura 2. Os impulsos propagam-se de um nó para os nós adjacentes através das linhas. Ao atingir o nó adjacente,

parte da energia do impulso incidente retorna ao nó como impulso refletido, enquanto outras parcelas dessa energia são transmitidas para os demais nós.

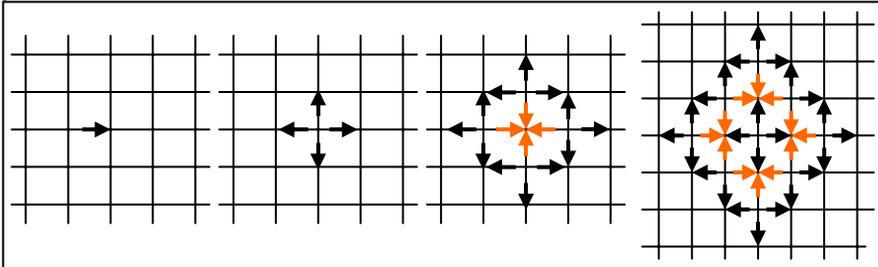


Figura 2 - Princípio de Huygens em uma malha 2D (duas dimensões), incidência de um impulso de energia

Para o estudo da modelagem bidimensional pelo TLM, é necessário o estabelecimento da equivalência entre as equações de Maxwell, que governam a propagação da onda e sua interação com o meio físico, e as equações de circuitos elétricos, que descrevem as relações entre correntes e tensões no modelo de linhas de transmissão (FACCIONI FILHO, 1997; FERMINO, 1998; FERREIRA, 1999).

#### 4. METODOLOGIA DA PESQUISA E RESULTADOS OBTIDOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa tornou-se necessário realizar uma simulação utilizando dados da planta baixa do laboratório de usinagem do curso de tecnologia em manutenção industrial, da UTFPR, campus Pato Branco, por apresentar características similares a um ambiente industrial. Para tanto, foram realizadas medições nesse ambiente, identificando as dimensões, a localização e as propriedades físicas (permeabilidade, permissividade, condutividade, entre outras) dos equipamentos instalados, com o objetivo de fornecer esses dados para uma ferramenta de simulação baseada no modelo numérico TLM – *Transmission Line Matrix*.

As informações necessárias para a simulação foram as seguintes:

-Ambiente (cotas das paredes e aberturas, composição física, tipos de materiais, permeabilidade, permissividade, condutividade).

-Equipamentos (localização, largura, comprimento, composição dos materiais, permeabilidade, permissividade, condutividade).

-Móveis (localização, largura, comprimento, composição dos materiais, permeabilidade, permissividade, condutividade).

-Padrão de rede (protocolos 802.11b, banda de frequência de 2,4GHz), ponto de acesso e a localização dos pontos de rede.

A partir da definição da infra-estrutura e o leiaute os móveis e equipamentos, foram especificados a localização dos pontos de rede, bem como o ponto de acesso para a propagação dos sinais. Como pode ser visto na figura acima, o ponto de acesso foi definido na sala de Supervisão e Controle do Processo Industrial, a qual apresenta todos os recursos para o gerenciamento do sistema e a conexão com o ponto de rede padrão Ethernet. Com relação aos pontos de rede selecionados, foram projetados em pontos próximos às máquinas CNC – Comando Numérico Computadorizado.

Foram realizadas 2 simulações em ambiente 2D (duas dimensões) no sistema, utilizando as seguintes alturas para cada simulação: 0,83m; 2m. Esses valores foram definidos pela disposição da sala, sendo que a primeira simulação com as antenas na altura de 0,83m (figura 3) considerou a altura padrão dos móveis (mesas e bancadas). A última simulação, com altura das antenas em 2m (figura 4), foi realizada para verificar a forma de propagação das ondas eletromagnéticas em área desobstruída por equipamentos.

	Permissividade Relativa ( $\epsilon_r$ )	Permeabilidade Relativa ( $\mu_r$ )	Condutividade ( $\sigma$ ) (S/m)
Material Ferromagnético	1,0	3000	$1,0 \times 10^7$
Concreto	5,0	1,0	0,0
Madeira	3,0	1,0	0,0
Vidro	4,0	1,0	0,0

Tabela 1 - Propriedades Elétricas dos Materiais utilizados na Simulação

Com relação às propriedades elétricas dos materiais, foram utilizados na simulação os valores indicados na tabela 1 (KOTSUKA 1999) e (KRAUS 1991).

Para a simulação do ambiente foi utilizada uma malha quadrada de 1257 nós na direção X, e 1201 nós na direção de Y, perfazendo um total de 1.509.657 nós. A distância entre os nós foi de  $\Delta l=1,25\text{cm}$ . E o número de iterações utilizadas foi de 3.000, levando um tempo médio de 5 horas cada simulação, considerando a utilização de um microcomputador do tipo Pentium IV- 1,8GHz com 512MB de memória RAM.

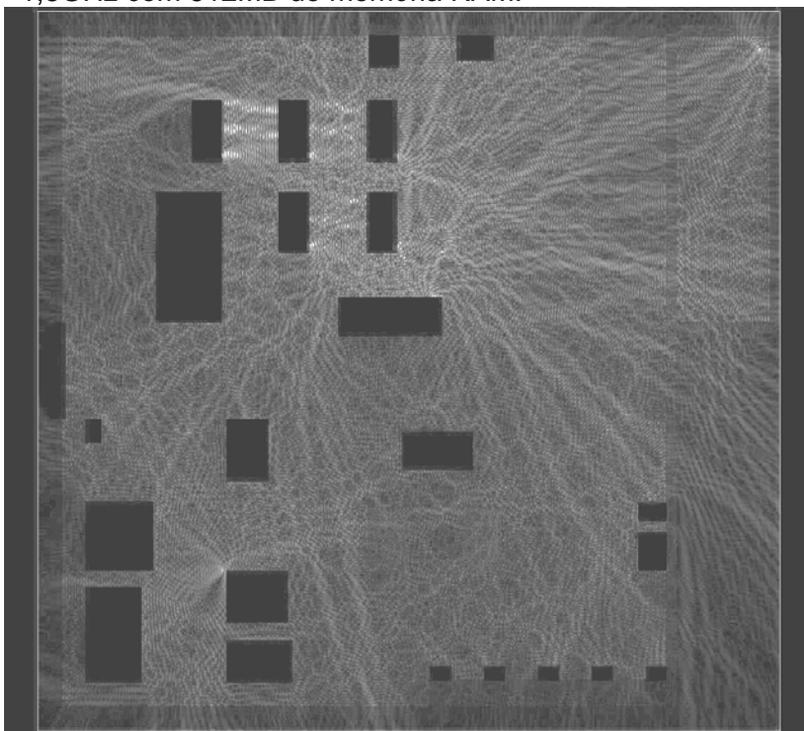


Figura 3 – Simulação ao nível de 83cm com um acesso(ponto claro no canto superior direito) e sete locais diferentes de conexão (pontos mais claros)

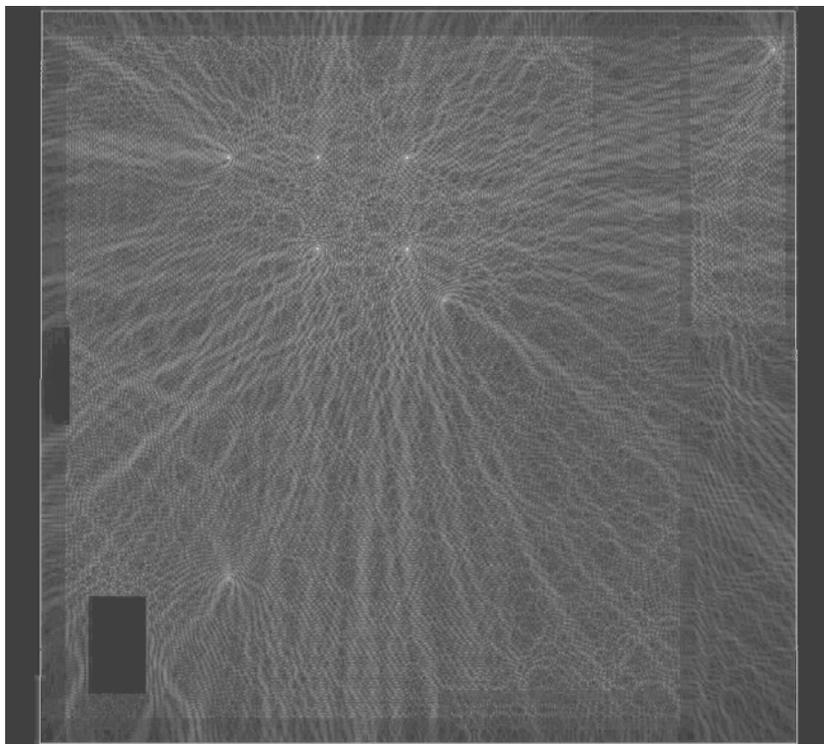


Figura 4 – Simulação ao nível de 200cm com um acesso (ponto claro no canto superior direito) e sete locais diferentes de conexão (pontos mais claros)

Pode-se notar que há uma maior concentração de campo em materiais com maior permissividade, e a reflexão em materiais condutivos. Portanto, constatou-se que as reflexões tendem a concentrar o campo eletromagnético nas regiões próximas as máquinas e equipamentos.

A antena deve ser alocada em regiões com menos obstáculos para minimizar a interferência do sinal. No caso em estudo, fica constatada a necessidade de utilização em um plano superior aos dos 2 metros, e também, o mais próximo possível do(s) receptor(es).

Considerando o critério de segurança física do sistema de irradiação (ponto de acesso), deve-se colocá-lo em ambientes onde os materiais (paredes) tenham permissividade e

permeabilidade menores, como de madeira ou compensado, para facilitar a irradiação das ondas eletromagnéticas.

## 5. CONCLUSÕES

Com esta simulação foi possível identificar os pontos que apresentam menor perda de sinal a ser transmitido neste ambiente, bem como, mapear os pontos críticos que apresentam as menores irradiações, auxiliando desta forma aos projetistas na elaboração do leiaute dos processos industriais e a alocação de transmissores e receptores de redes de comunicação de dados sem fio neste ambiente.

Com relação aos níveis de campos, há a necessidade de verificação do impacto destes sobre o ser humano, pois as reflexões e refrações tendem a concentrar os campos em certos locais do ambiente, como por exemplo, entre os equipamentos. Portanto, este trabalho contribui também com aspectos relacionados a segurança do trabalho, considerando os níveis de irradiação no ambiente industrial, definindo áreas onde podem ser prejudiciais ao ser humano e possibilitando trabalhos futuros nesta perspectiva.

Ainda quanto ao desenvolvimento de trabalhos futuros, poderá ser indicada a realização de simulações considerando ambientes tridimensionais 3D (três dimensões).

## 5. REFERÊNCIAS

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações. Regulamento sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita. Resolução N° 365, de 10 de MAIO de 2004.

CHRISTOPOULOS, C. The Transmission-Line Modeling Method TLM. New York USA: IEEE Press, 1995.

FACCIONI FILHO, M. O Método de Modelagem por Linhas de Transmissão (TLM) e Aplicações em Compatibilidade Eletromagnética. Dissertação de Mestrado, UFSC - CTC – EEL – GRUCAD, Junho de 1997.

FERMINO, A. C. Contribuição ao Estudo de Métodos Numéricos em Eletromagnetismo: O Método TLM em duas Dimensões. Dissertação de Mestrado, UFSC – CTC – EEL – Grucad, dezembro de 1998.

FERREIRA, G. S. Modelagem Numérica de Problemas de Compatibilidade Eletromagnética utilizando TLM (Transmission-Line Modeling Method). Tese de Doutorado, UFSC – CTC – EEL – GRUCAD, março de 1999.

FLEMING, W. J. Espalhamento espectral: conceitos básicos e características do sistema. Publicado na revista Engenharia de Televisão, n° 55, Março de 2001. Disponível em: <http://www.betatelecom.com.br>. Acesso em: 21/01/2005.

HOEFER, W. J. R., The Transmission Line Matrix Method, Theory and Techniques, IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-33, n.º 10, pp. 882-893, Oct. 1985.

JOHNS, P. B. & BEURLE, R. L., Numerical solution of 2-dimensional scattering problems using a transmission-line matrix, Proc. IEE, vol. 118, n.º 9, pp. 1203-1208, Sep. 1971.

KOTSUKA, Y. & TANAKA, T., Method of Improving EM Field Distribution in a Small Room with an RF Radiator, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 41, n.º 1, Feb.1999.

KRAUS, J. D., Electromagnetics, Fourth Edition, New York: McGraw – Hill, Inc., 1991.

OLIVEIRA, F. T. X. Tutorial radio spread spectrum. TELECO – Informações em Telecomunicações. Publicado em: 3/02/2003 Disponível em: [www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialss/pagina_1.asp). Acesso em 14/04/2005.

PROENÇA Jr., M. L. WIRELESS, 2002. Disponível em: <http://proenca.uel.br/curso-redes-especializacao/>. Acesso em: 20/12/2004.

TANENBAUM, A. S. Redes de Computadores. Editora Campus: Rio de Janeiro, 1997.