

**Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**  
**Departamento de Engenharia Eletrônica**

ISSN 1413-2206

**BT/PEE/9907**

---

**Comportamento Transitório de Campos  
Eletromagnéticos em Meios Condutores:  
Simulação Computacional Eficiente por  
Diferenças Finitas no Domínio do Tempo**

---

**Alexandre Augusto Ottati Nogueira**  
**Jorge Mieczyslaw Janiszewski**

**São Paulo – 1999**

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Alexandre Augusto Ottati Nogueira sob orientação do Prof. Dr. Jorge Mieczyslaw Janiszewski: "Comportamento Transitório de Campos Eletromagnéticos em Meios Condutores: Simulação Computacional Eficiente por Diferenças Finitas no Domínio do Tempo", defendida em 19/02/98, na Escola Politécnica.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Nogueira, Alexandre Augusto Ottati

Comportamento transitório de campos eletromagnéticos em meios condutores : simulação computacional eficiente por diferenças finitas no domínio do tempo / A.A.O. Nogueira, J.M. Janiszewski. -- São Paulo : EPUSP, 1999.

15 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9907)

1. Campos em meios condutores 2. Diferenças finitas no domínio do tempo 3. Simulação (Computadores) I. Janiszewski, Jorge Mieczyslaw II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série  
ISSN 1413-2206

CDD 537.6226

515.62

003.3

## **Comportamento Transitório de Campos Eletromagnéticos em Meios Condutores: Simulação Computacional Eficiente por Diferenças Finitas no Domínio do Tempo**

**NOGUEIRA, Alexandre Augusto Ottati; JANISZEWSKI, Jorge Mieczyslaw**

### **RESUMO**

Têm-se verificado nos últimos anos um aumento significativo no número de aplicações que utilizam o método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo na resolução numérica de problemas eletromagnéticos, uma vez que sua formulação proporciona uma discretização elegante e direta da forma diferencial das equações de Maxwell.

A análise de problemas envolvendo campos magnéticos variáveis em meios bons condutores, apesar de sua relevância nos estudos referentes ao fenômeno da indução e da distribuição não uniforme de campos, constitui-se de um problema complexo, em que a solução analítica só é possível em casos muito simples, e tem sido, ainda, realizada de maneira restrita.

Apesar da simplicidade do processo, há o problema de discretização em espaço e tempo, que poderia conduzir à manipulação de matrizes de extremo tamanho, dificultando ou até impedindo sua solução computacional.

Este trabalho propõe, portanto, o desenvolvimento e a análise de desempenho de um procedimento computacional otimizado, baseado em Diferenças Finitas no Domínio do Tempo, para o estudo do comportamento transitório de campos eletromagnéticos em meios condutores.

A aplicação do procedimento a problemas de solução conhecida (analítica ou numérica) permitiu a validação do método e, também, a análise de desempenho do sistema em função de parâmetros, mostrando a aplicabilidade da proposta e, também, suas extensões.

### **1. Introdução**

Este trabalho versa sobre a aplicação do método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD) no estudo de transitórios eletromagnéticos em meios bons condutores.

O método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo tem sido uma ferramenta amplamente utilizada na resolução numérica de problemas eletromagnéticos. Dentre as áreas de aplicação do método podem ser citados: dispositivos de microondas e estruturas guiadas, estruturas de radiação, modelagem de dispositivos ativos e passivos e modelagem de materiais, entre outras. Poucos estudos tem sido realizados, porém, em aplicações envolvendo meios bons condutores. Além disso, aspectos computacionais ligados à memória requerida e tempo de processamento merecem estudo.

Neste contexto, o trabalho apresenta um estudo sobre campos eletromagnéticos em meios condutores, a partir de uma excitação transitória de corrente, utilizando-se do método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo como ferramenta matemática de resolução. Tal fenômeno existe, por exemplo, no comportamento de aterramentos sob descargas atmosféricas e na indução de correntes em meios condutores.

Para tanto, foi desenvolvido um sistema computacional dedicado à aplicação do método a casos de interesse, de modo a tornar possível a discussão e análise de resultados provenientes da aplicação do

método. Explorando-se com atenção especial o aspecto da análise de sistemas envolvida no desenvolvimento do trabalho, promove-se uma abordagem eficiente e otimizada no tratamento de problemas computacionais clássicos inerentes aos métodos de resolução numérica, como tempo de processamento e espaço em memória necessários.

Utiliza-se, desta forma, a implementação dos conceitos de memória virtual como técnica de gerenciamento de memória, visando-se a otimização do tempo de acesso às matrizes de dados envolvidas no processamento, sem que haja limitação da capacidade de processamento relacionada ao número máximo de pontos da região discretizada. A técnica baseia-se na divisão das matrizes de dados, inicialmente armazenadas em disco rígido, em blocos de tamanho menor, de forma que parte destes blocos possa ser alocada na memória randômica do computador.

Este trabalho justifica-se, portanto, através da aliança da otimização do procedimento computacional adotado à análise do comportamento do método em função da variação de parâmetros.

Assim, desenvolve-se neste trabalho a implementação e análise de resultados da aplicação do método das diferenças finitas no domínio do tempo no estudo de transitórios eletromagnéticos em meios condutores, realizadas por meio de um sistema computacional eficiente.

A aplicação a problemas de solução conhecida permite a análise do desempenho do sistema em função de parâmetros do método.

Utilizando-se do sistema computacional implementado como uma ferramenta de análise e verificação dos resultados, realiza-se:

- a apresentação dos resultados do estudo de transitórios eletromagnéticos em meios condutores a partir de uma excitação de corrente, analisando-se e discutindo-se os resultados do conjunto de casos propostos, provenientes da variação dos parâmetros das simulações, e
- a discussão dos aspectos da otimização computacional envolvidos.

## 2. O Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo

As técnicas de diferenças finitas são baseadas nas aproximações que permitem a substituição de equações diferenciais por equações de diferenças finitas. Estas aproximações são algébricas na forma e relacionam o valor de uma variável dependente em um ponto da região a valores de certos pontos vizinhos.

Inicialmente proposto por Yee em 1966 [1], o método introduz em seu equacionamento a discretização temporal do problema estudado, além da discretização espacial proposta pelo método das diferenças finitas utilizado no estudo de campos estáticos.

Sendo o objetivo do trabalho o estudo de campos em meios bons condutores, o problema pode ser equacionado considerando-se uma região com permeabilidade  $\mu$  e condutividade  $\sigma$  constantes, na forma:

$$\text{div } \vec{E} = 0 \quad (1)$$

$$\text{div } \vec{H} = 0 \quad (2)$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} \quad (4)$$

Se na região analisada não existirem correntes impostas, tem-se:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

De (4), (3) e (2) resulta a chamada equação da difusão:

$$\nabla^2 \bar{H} = \mu \sigma \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \quad (5)$$

Analogamente:

$$\nabla^2 \bar{E} = \mu \sigma \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \quad (6)$$

A discretização temporal, com aproximação de 1ª ordem, pode ser feita dividindo-se a variável  $t$  em incrementos  $\Delta t$ , como indicado na figura 1:

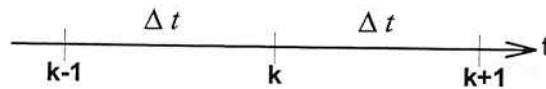


Fig. 1 - Discretização Temporal em Incrementos " $\Delta t$ "

Assim:

$$\left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)_k \cong \frac{\phi_P^{k+1} - \phi_P^k}{\Delta t} \quad (7)$$

A região analisada, por sua vez, é dividida numa grade de linhas mutuamente ortogonais com passo  $h$ , tendo um número finito de interseções (figura 2):

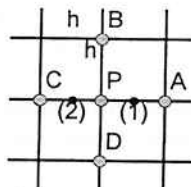


Fig. 2 - Discretização Espacial com Passo " $h$ "

Nas direções horizontal e vertical, valem as aproximações de 2ª ordem:

$$\left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right)_P \cong \frac{\phi_A + \phi_C - 2\phi_P}{h^2} \quad \text{e} \quad \left( \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right)_P \cong \frac{\phi_D + \phi_B - 2\phi_P}{h^2} \quad (8)$$

Supondo, como exemplo, um problema unidimensional em que  $\bar{H}$  seja função  $z$  e  $t$ , a equação (5) pode ser escrita apenas com componente  $H_x$ :

$$\bar{H} = H_x(z, t) \bar{i} \quad \text{e} \quad \bar{E} = E_y(z, t) \bar{j}, \quad \text{com:} \quad \nabla^2 H_x = \mu \sigma \frac{\partial H_x}{\partial t}$$

Adotando  $H_x(z, t) = \phi(z, t)$ , a forma discretizada será:

$$\frac{\phi_B^k + \phi_D^k - 2\phi_P^k}{h^2} = \mu \sigma \frac{\phi_P^{k+1} - \phi_P^k}{\Delta t} \quad (9)$$

sendo  $h$  e  $\Delta t$  os passos espacial e temporal adotados.

De (9) resulta:

$$\phi_P^{k+1} = \phi_P^k \left(1 - \frac{2 \cdot \Delta t}{\mu \cdot \sigma \cdot h^2}\right) + \frac{\Delta t}{\mu \cdot \sigma \cdot h^2} (\phi_B^k + \phi_D^k) \quad (10)$$

Os valores futuros podem ser encontrados a partir dos valores atuais, diretamente, o que justifica o nome de “método explícito”. A solução é obtida “numa marcha para a frente” no tempo.

O campo elétrico  $\mathbf{E}$  é obtido por meio de (4):  $\sigma \cdot \bar{\mathbf{E}} = \text{rot } \bar{\mathbf{H}}$

O método explícito pode, em certas condições, apresentar instabilidade na solução. Demonstra-se que para o caso unidimensional em coordenadas cartesianas, a solução através da formulação explícita do problema será estável quando [2]:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot h^2 \quad (11)$$

Analogamente, no caso bidimensional, supondo, como exemplo, um problema em que  $\mathbf{H}$  apresente apenas componente  $H_y$ , em função de  $x$  e  $z$ :

$$\bar{\mathbf{H}} = H_y(x, z, t) \bar{\mathbf{j}} \quad \text{e} \quad \bar{\mathbf{E}} = E_x(x, z, t) \bar{\mathbf{i}} + E_y(x, z, t) \bar{\mathbf{j}}, \quad \text{com} \quad \nabla^2 H_y = \mu \cdot \sigma \frac{\partial H_y}{\partial t}$$

Definindo  $H_y(x, z, t) = \phi(x, z, t)$ , resulta:

$$\phi_P^{k+1} = \phi_P^k \left(1 - \frac{4 \cdot \Delta t}{\mu \cdot \sigma \cdot h^2}\right) + \frac{\Delta t}{\mu \cdot \sigma \cdot h^2} (\phi_A^k + \phi_B^k + \phi_C^k + \phi_D^k) \quad (12)$$

Problemas com meios de diferentes características podem ser analisados. Assim, no caso de interface horizontal, a separação dos meios ocorre como mostrado na figura 3:

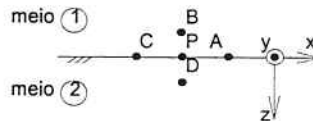


Fig. 3 - Interface Horizontal de Meios com Condutividades  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  Diferentes

Supondo  $\bar{\mathbf{H}} = H_y \bar{\mathbf{j}}$ , as condições de contorno aplicáveis são:

$$E_{x_1} = E_{x_2} \quad (13)$$

$$\sigma_1 \cdot E_{z_1} = \sigma_2 \cdot E_{z_2} \quad (14)$$

Aplicando-se essas condições à formulação, chega-se à expressão:

$$\phi_P^{k+1} = \left[1 - \frac{2\Delta t(\sigma_1 + \sigma_2)}{\mu\sigma_1\sigma_2 h^2}\right] \phi_P^k + \frac{\Delta t}{2\mu\sigma_1\sigma_2 h^2} \left[ \phi_A^k(\sigma_1 + \sigma_2) + \phi_B^k(2\sigma_2) + \phi_C^k(\sigma_1 + \sigma_2) + \phi_D^k(2\sigma_1) \right] \quad (15)$$

Analogamente podem ser definidas expressões para problemas com simetria axial.

### 3. Implementação Computacional - Desenvolvimento do Método

São discutidos todos os aspectos referentes à implementação computacional do método de resolução proposto, abordando-se, sobretudo a questão relacionada à otimização do gerenciamento de memória e dos procedimentos computacionais adotados.

#### 3.1. Sistema de Gerenciamento de Memória

A aplicação do método FDTD na resolução numérica de problemas é muito viável, uma vez que o método é simples e de aplicação direta. Porém, quando as dimensões do problema a ser analisado são muito grandes e o espaço em memória disponível para o processamento limitado, há um problema a ser resolvido, envolvendo a precisão da solução obtida e o tempo total de processamento. Aumentar a precisão da solução fazendo-se uso de outras formas de armazenamento de dados pode tornar a simulação do problema muito mais demorada.

##### matrizes de dados

Duas matrizes de dados são necessárias ao processamento: matriz de valores atuais e matriz de valores futuros de campo. A matriz de valores futuros de campo contém os resultados do processamento das equações de difusão referentes ao instante atual,  $t^k$ , ou inicial,  $t^0$ , da simulação.

A matriz de valores futuros de campo vai sendo preenchida passo a passo a partir da matriz de valores atuais de campo e do valor atual da função de excitação de campo, submetidas às condições de contorno do problema.

##### divisão das matrizes

Quando o número de pontos das matrizes de dados se torna extremamente grande, seja em função das dimensões elevadas da região, seja em função do alto grau de precisão requerido na resolução, tornando o passo geométrico da malha de discretização muito reduzido, não é possível o armazenamento completo destas matrizes na área de memória randômica da máquina, que apresenta, dentre todos os dispositivos disponíveis de armazenamento, o menor tempo de acesso a dados. Torna-se necessário, então, o armazenamento das matrizes em dispositivos cujo acesso aos dados é mais lento, resultando um processo de simulação mais demorado.

Buscando uma solução eficiente na abordagem deste problema, foi implementado neste trabalho um sistema de gerenciamento de memória que utiliza os conceitos de memória virtual [3].

Neste esquema, divide-se a área total de dados que se deseja armazenar em blocos de dados menores, de modo que estes blocos possam ser alocados na memória randômica da máquina e depois removidos, gerando-se, assim, espaço em memória para a alocação de um outro bloco de dados, necessário ao processamento neste novo instante do processo.

##### controle dos blocos de dados

O sistema de gerenciamento é realizado através de *flags* de controle de acesso e alteração de blocos, que possibilitam a alocação dos blocos requeridos num determinado instante do processamento do algoritmo, bem como a remoção dos blocos não mais necessários neste mesmo instante.

Uma estrutura de dados chamada “matriz virtual” concentra em si todos os elementos necessários a esse controle dos blocos de dados. Nesta estrutura, armazenam-se os ponteiros dos blocos de dados, os *flags* de indicação de modificação, os *flags* de indicação de acesso, os ponteiros de remoção e os ponteiros dos arquivos binários.

Associa-se, a cada matriz de dados, um ponteiro da estrutura de controle de arquivo binário do disco rígido. É nestes arquivos em disco que efetivamente ficarão gravadas as matrizes completas de valores atuais e futuras de campo. Destes arquivos são copiados os blocos de dados que são manipulados pelo processo de simulação, num dado instante do processamento. Os dados são gravados nestes arquivos no formato binário para aumentar a eficiência de manipulação dos dados, em termos de espaço ocupado em disco e de velocidade de acesso aos dados no arquivo.

Toda a memória randômica da máquina disponível para processamento é, então, dividida em duas partes iguais e blocos das duas matrizes passam a ser alocados em memória. Inicia-se, então, o procedimento de alocação dos blocos, que prossegue até que toda a memória disponível para processamento seja ocupada pelos blocos de dados copiados das matrizes gravadas no disco rígido, ou até que um número máximo preestabelecido de blocos seja alocado.

Toda vez que os valores de uma ou mais células de um determinado bloco forem alterados, ou seja, quando os dados das células forem reescritos, ativa-se o *flag* de controle de alteração daquele bloco, de forma que, no procedimento de remoção de blocos, processa-se a regravação deste bloco de memória para a matriz em disco rígido. Se, por outro lado, os dados de um bloco forem apenas lidos enquanto ele permanecer alocado, seu *flag* de controle de alteração continuará desativado e não será necessária sua regravação quando ele for removido.

O *flags* de controle de acesso de blocos são utilizados no procedimento de controle de alocação e remoção de blocos, que segue uma lógica seqüencial na busca do bloco a remover.

#### **acesso às células da matriz de dados**

Calcula-se, inicialmente, as linhas e as colunas do bloco da matriz de dados e da célula que contém o ponto P desejado.

Se o bloco de dados desejado não estiver alocado na memória, processa-se sua alocação.

Toda a vez que um bloco de dados desejado não é encontrado na memória e, portanto, faz-se necessária sua alocação, um contador ausências na busca de dados é incrementado. Da mesma forma, quando um dado requerido já está alocado na memória, incrementa-se um contador de presenças na busca de dados. A contabilização destas ocorrências torna possível a posterior medida de eficiência do algoritmo de alocação e remoção de blocos de memória.

#### **alocação de blocos na memória**

O procedimento de alocação de um bloco de dados requerido na memória randômica da máquina promove, sobretudo, a busca de um bloco alocado que possa ser removido, gerando, assim, espaço em memória para a alocação do novo bloco.

Quando um bloco é encontrado para remoção, reescreve-se este bloco no disco, caso ele tenha sido modificado, ajusta-se o ponteiro do bloco a ser alocado de modo que ele aponte para o endereço de memória anteriormente ocupado pelo bloco a ser removido, aponta-se o ponteiro do bloco a ser removido para o vazio, posiciona-se o bloco requerido da matriz de dados gravado no disco rígido da máquina e copia-se este bloco de dados para a memória, no endereço apontado pelo ponteiro do bloco recém-preparado.

### **3.2. Permuta Otimizada de Valores Atuais e Futuros**

Ao fim de cada passo de simulação, a matriz de valores futuros de campo calculada se transforma na matriz de valores atuais de campo referentes ao próximo passo de simulação, fornecendo, assim, os valores de campo necessários à composição da nova solução da distribuição.



Esta troca de papéis entre as matrizes de valores atuais e futuros de campo é realizada, simplesmente, através da permuta dos ponteiros das matrizes atual e futura, de forma que não se faz necessária a cópia dos conteúdos das células de uma matriz para outra.

### 3.3. Definição dos Parâmetros de um Problema

Na definição dos problemas, uma série de parâmetros referentes à sua geometria, a aspectos do procedimento computacional, à forma da função de campo incidente e à discretização do tempo e espaço são definidos.

#### parâmetros gerais

- Nome do Problema
- Código do Problema

#### parâmetros relacionados à geometria do problema

- Simetria do Problema
- Altura da Região de Estudo
- Largura da Região de Estudo
- Altura do Condutor

#### parâmetros relacionados às características físicas do problema

- Permeabilidade Magnética do Meio
- Condutividade Elétrica do Meio
- Condutividade Elétrica do Segundo Meio
- *Flag* de Indicação da Existência de um Segundo Meio
- Início do Segundo Meio

#### parâmetros relacionados ao procedimento de simulação

- Tipo de Sinal
- Intensidade Máxima de Campo Incidente
- Instante de Máximo e Instante Final
- Número de Passos de Simulação
- Tamanho do Passo de Simulação
- Tamanho da Grade

#### parâmetros relacionados ao aspecto computacional do processamento

- Limite de Alocação de Blocos
- Limite da Quantidade de Blocos na Divisão das Matrizes
- Número de Passos de Simulação entre Fotografias
- Transposição das Matrizes de Saída

### 3.4. Etapas do Processamento

A figura 4 representa o fluxo estruturado de processamento da simulação computacional:

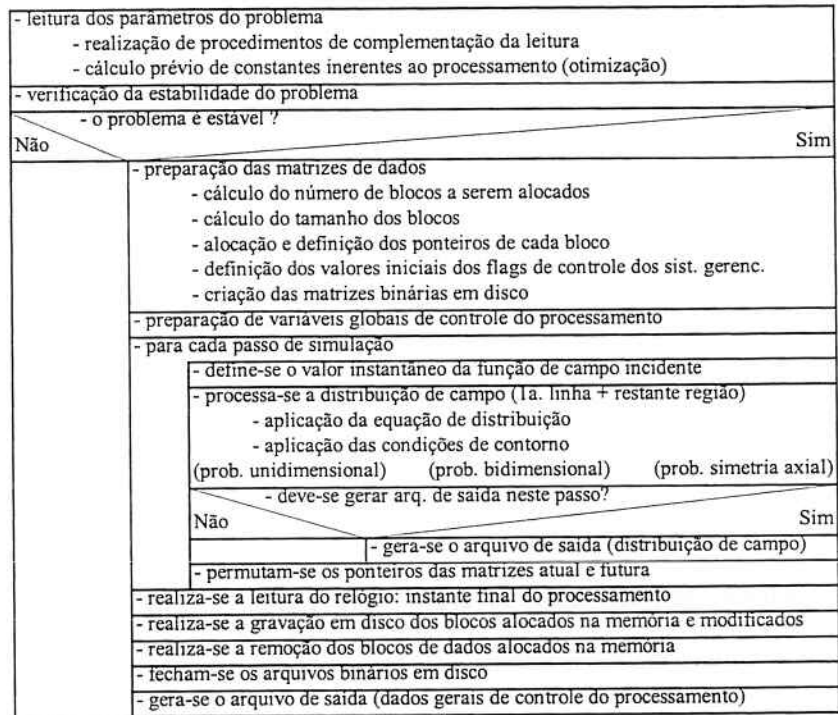


Fig. 4 - Fluxograma de Processamento da Simulação

### 4. Validação do Modelo de Resolução

O procedimento foi validado através de sua aplicação a problemas escolhidos, nos casos unidimensional, bidimensional e axial.

Os resultados obtidos foram comparados com resultados analíticos ou de solução por elementos finitos [4].

Um exemplo de validação corresponde ao caso unidimensional. No problema em questão, foi considerado um bloco muito extenso nas direções  $x$  e  $y$ , feito de material com resistividade  $\rho=3 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$  e permeabilidade  $\mu=4\pi \cdot 10^{-5} H/m$ . A espessura do bloco é definida pelas superfícies  $z=0$  cm e  $z=3,6$  cm. Um campo magnético constante (na direção  $x$ )  $H_x=100$  A/m foi suposto aplicado na superfície superior do bloco ( $z=z_{\max}=3,6$  cm), causando a difusão eletromagnética deste campo apenas ao longo da direção  $z$ , até que seu valor fosse nulo ( $H_x=0$ ) na superfície inferior do bloco ( $z=0$ ). Neste caso, em que os campos variam apenas com  $z$ , a componente  $H_x$  de campo corresponde a componente  $E_y$ .

A figura 5 mostra os resultados obtidos para  $H_x$  em função da profundidade, para dois instantes diferentes do processamento (16 ms e 40 ms), comparando-os com os valores da solução analítica do problema, que pode ser vista em [5].

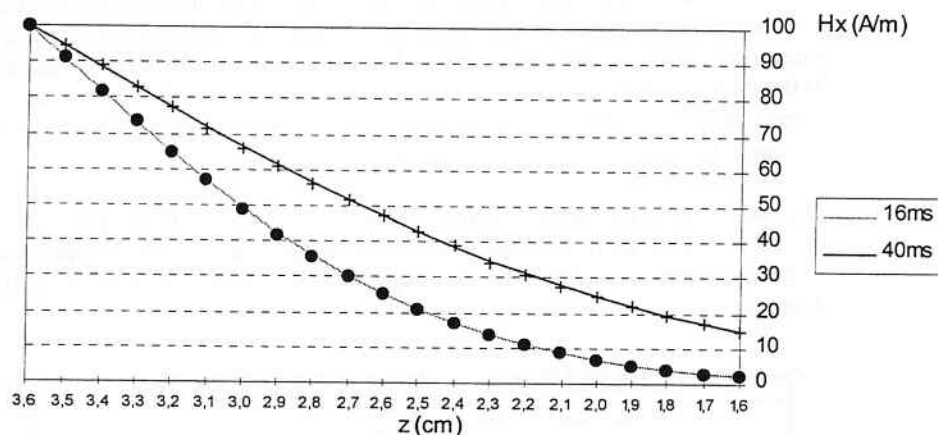


Fig. 5 - Variação do campo magnético em função da profundidade  
(+ e •) Solução Analítica e (—) Solução por Diferenças Finitas- Caso Unidimensional

Vê-se a excelente concordância entre os valores computados pelo método proposto e os valores da solução analítica.

Vale a pena ressaltar que na resolução por diferenças finitas utilizada para validação, utilizou-se uma malha de discretização com passo de 1 mm, que resultou em matrizes de dados (valores atuais e futuros de campo) de 36 células em cada direção, requerendo, desta forma, um espaço em disco total de 10.368 bytes para as duas matrizes. Foram realizados 200 passos de simulação de 0,2 ms cada, completando-se, assim, os 40 ms de simulação. Este problema, com alocação de 100% dos blocos em memória, foi resolvido em 7 segundos.

Outro exemplo corresponde ao caso bidimensional. Neste caso, é suposto um condutor plano, muito extenso na direção y, de espessura (eixo x) desprezível e comprimento (eixo z) de 0,48 cm. Nestas condições, o  $H$  terá componente  $H_y$ , enquanto que  $E$  será definido por  $E_x$  e  $E_z$ . A região analisada é limitada, no plano  $y=0$ , a um quadrado de 1,6 cm de largura e igual comprimento. O condutor, localizado na origem ( $x=0$ ) do sistema de coordenadas, é admitido equipotencial, apresentando apenas  $E_n$  em sua superfície, sendo o mesmo admitido para a superfície  $x=1,6$  cm. Em  $z=0$  admite-se  $H=0,125$  A/cm, sendo  $H=0$  nas outras partes do contorno. O valor admitido para  $H$  em  $z=0$  é relativo a uma corrente de degrau introduzida no condutor, de 0,25 A/cm. A região analisada apresenta condutividade elétrica  $\sigma=10^4$  S/m e permeabilidade  $\mu=4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m.

A figura 6 mostra a propagação dos campos para o interior do meio condutor, sendo indicadas as linhas de  $H$  constante, que representam as linhas de corrente em três diferentes instantes da difusão (0,12  $\mu$ s, 0,24  $\mu$ s, e 0,36  $\mu$ s):

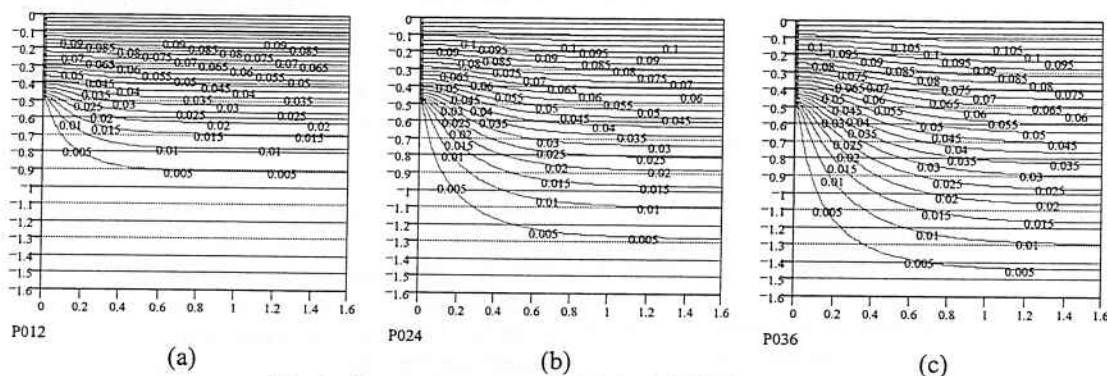


Fig. 6 - Comportamento transitório de  $H$  bidimensional  
(a)  $t = 0,12 \mu$ s, (b)  $t = 0,24 \mu$ s e (c)  $t = 0,36 \mu$ s  
Resolução por Diferenças Finitas

Deve-se ressaltar que na resolução por diferenças finitas utilizada na validação do método, utilizou-se uma malha de discretização com passo de 0,16 mm, que resultou em matrizes de dados (valores atuais e futuros de campo) de 100 células em cada direção, requerendo, desta forma, um espaço em disco total de 160.000 *bytes* para as duas matrizes. Foram realizados 4800 passos de simulação de 75 ns cada, completando-se, assim, os 0,36  $\mu$ s de simulação. Este problema, com alocação de 100% dos blocos em memória, foi resolvido em 1.636 segundos.

A figura 7 mostra a mesma distribuição de campo obtida em [4] por meio do método dos elementos finitos. As curvas de H constante desenhadas na figura referem-se, da superfície à parte inferior da região, respectivamente, às intensidades de campo 0,11 A/m, 0,09 A/m, 0,07 A/m, 0,05 A/m, 0,03 A/m, e 0,01 A/m:

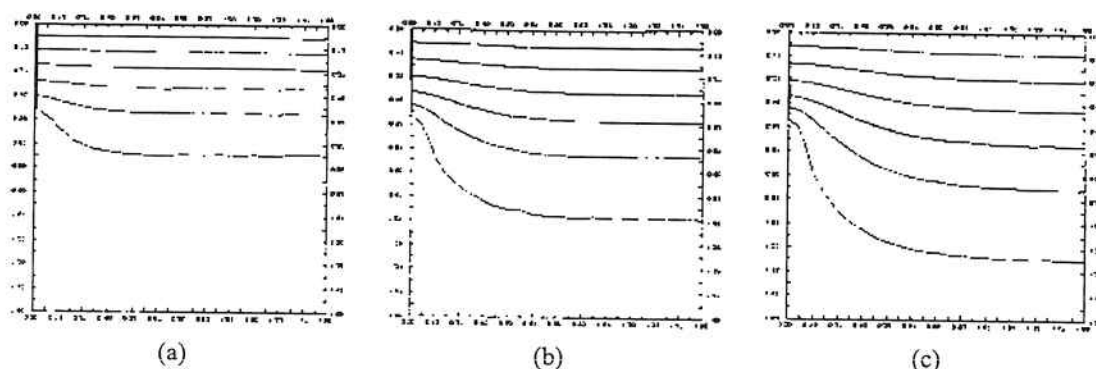


Fig. 7 - Comportamento transitório de H bidimensional  
(a)  $t = 0,12 \mu$ s, (b)  $t = 0,24 \mu$ s e (c)  $t = 0,36 \mu$ s  
Resolução por Elementos Finitos [4]

Verifica-se que o comportamento do campo obtido pelo método proposto aproxima-se muito do obtido pelo método dos elementos finitos.

Ressalta-se que, na resolução pelo método dos elementos finitos, a região foi dividida em 168 triângulos, resultando 104 nós. O passo de tempo de simulação foi adotado como 20 ns, sendo necessários, desta forma, 18 passos de simulação para completar o período de simulação de 0,36  $\mu$ s.

## 5. Validação da Otimização Computacional - Avaliação do Sistema de Gerenciamento de Memória

Foram resolvidos alguns problemas através da aplicação do modelo computacional desenvolvido neste trabalho, sendo alguns parâmetros do processamento alterados, especificamente os relacionados ao sistema de gerenciamento de memória virtual.

Pode-se avaliar, por exemplo, o tempo total de processamento e o índice de ausências na busca em memória de informações obtidos na simulação de dois problemas, em função da variação do número máximo de blocos das matrizes de dados alocados em memória.

Aplica-se o método, primeiramente, a um problema bidimensional, com 144 m de comprimento e igual profundidade. Utilizou-se uma malha de discretização com passo de 1 m, que resultou em matrizes de dados (valores atuais e futuros de campo) de 144 células em cada direção, requerendo, desta forma, um espaço em disco total de 331.776 *bytes* para as duas matrizes. Para um problema com esta configuração geométrica, o sistema gera, automaticamente, 144 blocos de dados com dimensão de 12x12 células. A região de distribuição de campo apresenta condutividade  $\sigma = 1,3 \cdot 10^{-2}$  S/m e permeabilidade  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m. Na simulação, foram utilizados 500 passos de tempo de 4 ns cada, abrangendo, desta forma, o período total de análise de 2  $\mu$ s.

O problema foi resolvido sob três diferentes condições: inicialmente com todas os 144 blocos de dados alocados na memória randômica da máquina, em seguida com o uso do sistema de gerenciamento de memória virtual, de modo que houvesse espaço em memória suficiente para alocação de apenas uma parcela do número total de blocos de dados e, finalmente, sem a utilização do sistema de gerenciamento, ou seja, sem o uso de alocação intermediária em memória e com 100% das buscas de dados realizadas diretamente no disco rígido da máquina. A tabela 1 apresenta os resultados da simulação deste problema:

	Uso exclusivo da memória	Uso dual: memória e disco rígido				Uso exclusivo do disco rígido
Núm. blocos alocados em memória	144	108	72	36	18	0
Porcentagem de blocos alocados	100,0%	75,0%	50,0%	25,0%	12,5%	0,0%
Núm. de acessos à dados	61.388.615	61.388.615	61.388.615	61.388.615	61.388.615	-
Núm. de presenças do dado em mem.	61.388.615	61.248.292	61.243.869	61.240.645	61.036.825	-
Núm. de ausências do dado em mem.	0	140.323	144.746	147.970	351.790	-
Índice de ausências	0,0000%	0,2286%	0,2358%	0,2410%	0,5731%	-
Tempo total de processamento (s)	358	498	502	506	655	15.204
Aumento percentual do tempo	(referência)	39,11%	40,22%	41,34%	82,96%	4.146,93%

Tabela 1 - Avaliação de Índice de Ausências e do Tempo Total de Processamento em função do número de blocos alocados em memória Problema Bidimensional

Verifica-se que, com a utilização do sistema de gerenciamento de memória, o tempo de processamento dos problemas aumenta à medida que diminui o número de blocos de dados alocados na memória randômica da máquina, partindo de um aumento de 39,11% em relação ao tempo de resolução do problema carregado integralmente na memória, no caso da alocação de 75% dos blocos, e chegando a um aumento de 82,96%, na alocação de apenas 12,5% dos blocos em memória. Esta relação é perfeitamente natural, uma vez que com um espaço menor em memória disponível para processamento, um número correspondentemente menor de blocos de dados poderá ser alocado e, com isso, maior será a necessidade de permuta de blocos de dados durante a simulação.

Os resultados mostram, porém, que o tempo total de processamento com o uso do sistema de gerenciamento de memória virtual é significativamente menor que o obtido sem este gerenciamento, quando todos os acessos às matrizes de dados são realizados exclusivamente no disco rígido da máquina. Comparando-se o aumento percentual do tempo total de processamento deste caso com o tempo de referência (matrizes alocadas integralmente em memória), verifica-se um aumento de 4.146,93%, ou seja, mais de 42 vezes maior que o tempo de referência, contra um aumento da ordem de 2 vezes o tempo de referência com a utilização do sistema de gerenciamento de memória virtual.

Com relação à análise dos índices de ausência verificados, percebe-se que a estratégia sequencial de remoção de blocos foi extremamente eficiente e satisfatória, visto que, no pior caso, ou seja, com a alocação de apenas 12,5% dos blocos de dados do problema em memória, o índice de ausências registrado foi de apenas 0,5731 pontos percentuais, ou seja, de cada 1000 buscas de dados realizadas, em menos de 6 vezes foi necessária a busca destes dados no disco rígido da máquina.

Aplica-se, agora, o método a um problema unidimensional, com 90 m de comprimento e igual profundidade, utilizando-se uma malha de discretização com passos de 10 cm, totalizando, assim, 900 células em cada direção das matrizes de dados do sistema. Isto define um espaço em disco requerido total de 12,96 Mbytes. Para um problema com esta configuração geométrica, o sistema gera, automaticamente, 900 blocos de dados com dimensão de 30x30 células. A região de distribuição de campo apresenta condutividade  $\sigma = 1,3 \cdot 10^{-2}$  S/m e permeabilidade  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m. Na simulação, foram realizados 100 passos de tempo de 8 ps cada, abrangendo, desta forma, período total de análise de 8 ns.

Em função da arquitetura da máquina utilizada para a realização dos testes de avaliação demonstrados, este problema, especificamente, não poderia ser resolvido com o armazenamento total das matrizes de dados em memória, devido à suas dimensões. Desta forma, foi realizada a comparação de desempenhos na aplicação do modelo computacional a este problema, utilizando-se, inicialmente, o sistema de gerenciamento de memória virtual e, em seguida, sem ele, fazendo-se apenas o armazenamento das matrizes de dados em disco. A tabela 2 mostra os resultados desta comparação de desempenhos:

	Com Ger. Memória Uso da memória e do disco	Sem Ger. Memória Uso exclusivo do disco rígido
Núm. blocos alocados em memória	35	0
Porcentagem de blocos alocados	3,889%	0,0%
Núm. de acessos à dados	80.457.804	-
Núm. de presenças do dado em mem.	80.365.286	-
Núm. de ausências do dado em mem.	92.518	-
Índice de ausências	0,1150%	-
Tempo total de processamento (s)	4.323	17.901
Aumento percentual do tempo	(referência)	314,09%

Tabela 2 - Avaliação do Tempo Total de Processamento  
em função da utilização do sistema de gerenciamento de memória virtual  
Problema Unidimensional

A figura mostra um aumento de 314,09% no tempo total de processamento do problema, quando resolvido sem o auxílio do sistema de gerenciamento de memória virtual, em relação à aplicação com este gerenciamento, ou seja, um tempo de processamento mais de 4 vezes maior que com o sistema de gerenciamento. Na simulação do problema, houve espaço em memória suficiente para a alocação de apenas 35 blocos de dados, ou 3,889% dos blocos existentes, cada um ocupando 7200 *bytes*.

## 6. Aplicação a Casos de Interesse

A aplicação do procedimento a vários problemas de interesse permite avaliar a influência de diversos parâmetros: passo de tempo, tamanho da grade, características do meio, campo de excitação e geometria do problema. São analisados o tempo de processamento e a precisão obtida.

Como exemplo, a figura 8 mostra o comportamento do campo bidimensional num meio estratificado (interface vertical):



Problema:

- Caso:
- Função de Campo:
- Período de Análise:
- Passo de Simulação:
- Número de Passos:
- Intervalo entre Fotos:
- Condutividade do Meio 1:
- Condutividade do Meio 2:
- Tamanho da Grade:
- Dimensões da Região:
- Altura do Condutor

Meios Diferentes  
Interface Vertical (aos 50 m)

Bidimensional  
Degrau  
20,0E-6 s  
4,0E-9 s  
5.000 passos  
500 passos  
1,3E-2 S/m  
1,3E-1 S/m  
1,0 m  
100x100 m<sup>2</sup>  
0,1 m

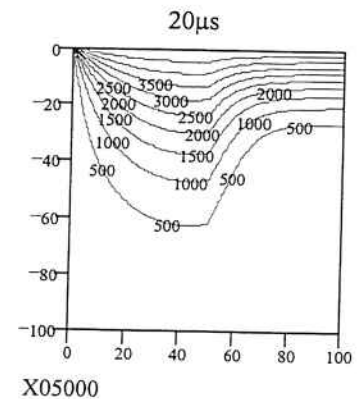
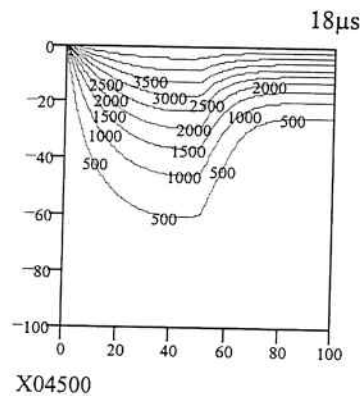
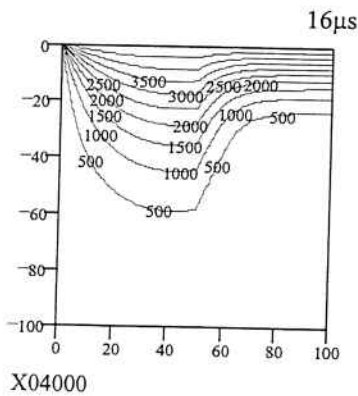
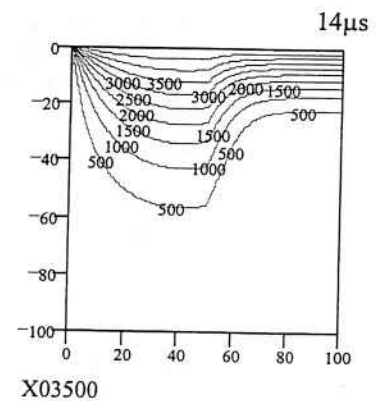
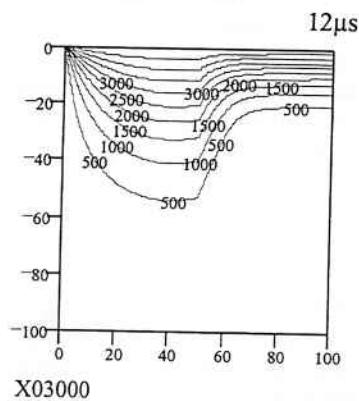
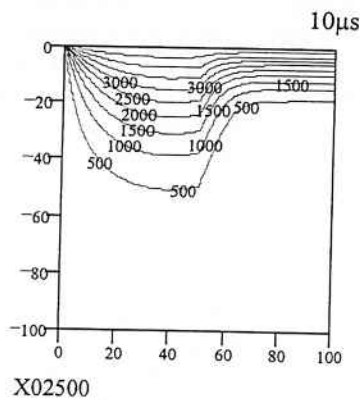
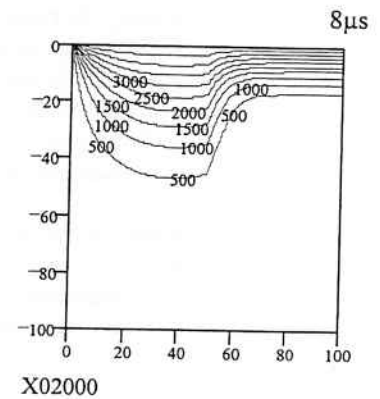
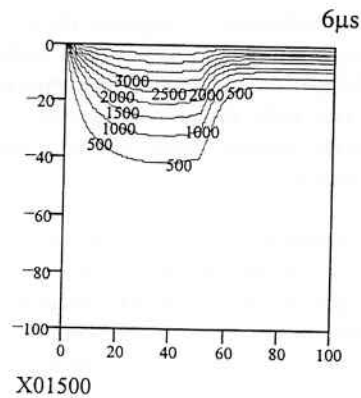
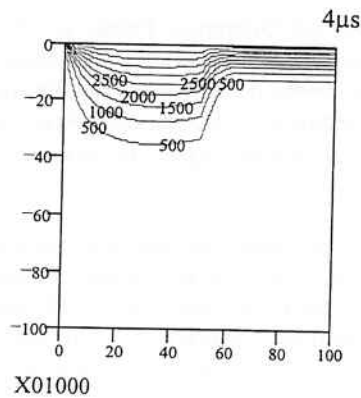
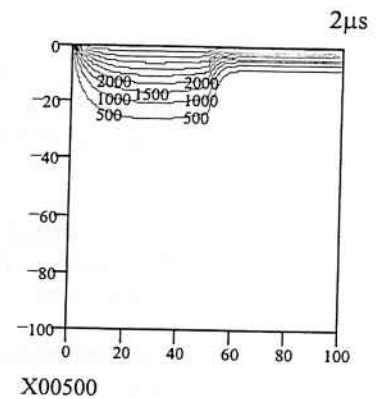


Fig. 8 - Interface Vertical; Condutividade à Esquerda menor que à Direita

## 7. Conclusão

Através da validação do modelo computacional desenvolvido e implementado neste trabalho, pôde-se comprovar a aplicabilidade do modelo no estudo do comportamento transitório de campos eletromagnéticos em problemas unidimensionais, bidimensionais e com simetria axial, envolvendo propagação em meios bons condutores.

Deve-se ressaltar que, apesar de terem sido propostas e utilizadas apenas algumas configurações particulares de problemas neste trabalho, a solução de problemas mais complexos, com outras geometrias ou com outra formulação (outros vetores) é igualmente válida e realizável.

A análise no domínio do tempo, utilizada neste trabalho, permitiu a consideração de diferentes formas de onda, obtendo-se diretamente a solução.

Apesar da grande simplicidade e elegância do Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD), sua aplicação a problemas complexos pode requerer a manipulação de matrizes de dados muito grandes, seja em função das dimensões geométricas elevadas do problema, seja em função do grau de precisão exigido. Isto pode tornar o tempo de processamento das simulações exageradamente alto, inviabilizando-a neste aspecto, caso não haja um mecanismo capaz de aumentar a eficiência de processamento do sistema.

Neste sentido, foi apresentada e discutida uma forma de melhorar a eficiência do modelo computacional, no que se refere ao processamento dos problemas de simulação. Isto possibilitou a redução do tempo de processamento dos problemas, através da utilização do sistema de gerenciamento de memória virtual e o aumento do domínio computacional a ser utilizado na composição dos problemas, aumentando, assim, a liberdade na escolha do refinamento da malha de discretização espacial e da precisão requeridas.

Os resultados mostraram que mesmo com uma alocação pequena de blocos em memória, em relação ao número total de blocos de dados gerados, já era suficiente para garantir um desempenho muito superior do sistema, quando comparado com o acesso contínuo ao disco rígido da máquina. Isto significa que a estratégia de remoção seqüencial de blocos, de implementação simples e com o melhor tempo de resposta dentre os critérios de remoção existentes, foi extremamente satisfatória na adaptação a este tipo de aplicação, devido à simetria existente no equacionamento por diferenças finitas.

Foi realizada, ainda, uma série de análises de casos envolvendo a propagação de campos, tendo se promovido a variação de inúmeros parâmetros dos problemas, considerando, inclusive, diferentes meios.

O procedimento também poderá ser estendido a problemas tridimensionais, agora bastante viáveis com o processo de gerenciamento de memória, levando em conta condutores de formas variadas ou sua associação, com diferentes correntes de excitação. Isto tudo visando, por exemplo, análise de aterramentos, com definição de impedância de impulso, potenciais de passo, entre outros.



## 8. Referências Bibliográficas

- [1] YEE, K. S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. **IEEE Transactions on Antennas and Propagations**, AP-14, n.4, p.302-307, 1966.
- [2] SEWELL, G. **The numerical solution of ordinary and partial differential equations**. Texas, Academic Press, Inc., 1988. 269p.
- [3] TANENBAUM, A. S. **Modern Operating Systems**. Amsterdam, The Netherlands, Prentice Hall, Inc., Vrije Universiteit, 1992.
- [4] JANISZEWSKI, J. M. **Comportamento transitório de campos eletromagnéticos em meios condutores: Análise por Elementos Finitos**. São Paulo, 1993. 98p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [5] BERG, P. W.; MCGREGOR, J. L. **Elementary Partial Differential Equations**. San Francisco, Holden-Day, Inc., 1966.

## BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- T/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Condutoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINALIA, ANTONIO ROBERTO PANICALI
- BT/PEE/9304 - Sistema de Otimização e Controle de Produção em Minas de Pequeno e Médio Porte - TSEN CHUNG KANG, VITOR MARQUES PINTO LEITE
- BT/PEE/9401 - Determinação das Frases de Aplicação Forense para o projeto NESPER e Tese de Mestrado IME/94, com Base em Estudos Fonéticos - MARCONI DOS REIS BEZERRA, EUVALDO F. CABRAL JUNIOR
- BT/PEE/9402 - Implementação e Teste de uma Rede Neural Artificial do Tipo KSON (Kohonen Self-Organizing Network) com Entradas Bidimensionais - MARCELO YASSUNORI MATUDA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9403 - Transformada de Walsh e Haar Aplicadas no Processamento de Voz - ALEXANDRE AUGUSTO OTTATI NOGUEIRA, THIAGO ANTONIO GRANDI DE TOLOSA, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9404 - Aplicação de Redes Neurais ao Problema de Reconhecimento de Padrões por um Sonar Ativo - ALEXANDRE RIBEIRO MORRONE, CRISTINA COELHO DE ABREU, EDUARDO KOITI KIUKAWA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9405 - Tudo que se Precisa Saber sobre a Prática da FFT - Transformada Rápida de Fourier (Inclui Software) - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9406 - A Survey on Speech Enhancement Techniques of Interest to Speaker Recognition - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9407 - Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, MÁRCIO A. MATHIAS, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9408 - Implementação e Teste de Filtros do Tipo Adaptativo e @Notch<sup>a</sup> para a Remoção de Interferência de 60 Hz em Sinais de Eletrocardiograma - FLÁVIO ANTÔNIO MENEGOLA, JOSÉ AUGUSTO DE MATTOS, JOSÉ GOMES G. FILHO, SIDNEY SILVA VIANA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9409 - Compressão de Sinais de Voz utilizando Transformadas de Karhunen-Loève, Fourier e Hadamard - IVAN LUIS VIEIRA, LUIZ FERNANDO STEIN WETZEL, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9410 - @Ray Tracing<sup>a</sup> Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para @Gate-Arrays<sup>a</sup> Tipo Mar de Portas - JORGE W. PERLAZA PRADO, WILHELMUS A. M. VAN NOIJE
- BT/PEE/9412 - Tudo que se Precisa Saber Sobre a Teoria da FFT - Transformada Rápida de Fourier - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9413 - Análise do Ruído Sonoro em uma Sala de Aquisição de Amostras de Som com Microcomputador - FÁBIO LUÍS ROMÃO, REINALDO SILVEIRA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9414 - Cor: Aspectos Relevantes para Visualização de Dados - SÍLVIA DELGADO OLABARRIAGA
- BT/PEE/9415 - Projeto de Filtros Digitais IIR com Fase Aproximadamente Linear Utilizando Redução de Ordem - IVAN F. J. RODRIGUES, MAX GERKEN
- BT/PEE/9416 - GERA-FILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais @IIR<sup>a</sup> (da especificação em alto nível ao leiaute do @ASIC<sup>a</sup>) - RICARDO PIRES, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9417 - Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Identificação de Pulsos Decádicos em Linhas Telefônicas - ANTONIO P. TIMOSZCZUK, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9501 - Estudo Comparativo de Métodos de Cálculo da Frequência Fundamental - MARCOS COSTA HUNOLD, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9502 - Combinando Técnicas de Redes Neurais Artificiais e Informações de Excitação no Reconhecimento Automático do Locutor - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9503 - Utilização de Redes Neurais Artificiais para Detecção e Identificação de Falhas em Circuitos - MÁRCIO YUKIO TERUYA, ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9504 - Uso de Redes Neurais Artificiais no Reconhecimento de Locutores no Domínio Temporal - BENEDITO JOSÉ BARRETO FONSECA JÚNIOR, EUVALDO CABRAL JÚNIOR
- BT/PEE/9505 - Projeto de Filtros Passivos e Ativos em Técnicas de Circuitos Integrados de Microondas - DAVID VIVEIROS JÚNIOR, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9506 - Uma Análise de Clustering para as Frases de Projeto NESPER - RONALDO OLIVEIRA MESSINA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9507 - Controle com Estrutura Variável e Modos Deslizantes - Um Estudo para Aplicação em Controle Carga-frequência da Geração - JOSE PAULO F. GARCIA, JOCELYN FREITAS BENNATON

- BT/PEE/9508 - Recuperação das Margens de Ganho e de Fase para Sistemas de Fase Não Mínima por Realimentação da Saída - MARCO H. TERRA, VITOR M. P. LEITE
- BT/PEE/9509 - Sistema de Inspeção Óptica de Dispositivos Bi-Dimensionais - CASIMIRO DE ALMEIDA BARRETO, PEDRO LUIS PRÓSPERO SANCHEZ
- T/PEE/9510 - Sistema de Partículas Uma Poderosa Técnica de Animação em Computação Gráfica - RENATO CURTO RODRIGUES, JOÃO ANTÔNIO ZUFFO
- BT/PEE/9511 - Efeito de Ruídos em Sinais de Voz Visualizados em Trajetórias Neurais de Kohonen - CELSO S. KURASHIMA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9601 - "Um Reconhecedor de Sinais Sonoros Utilizando LVQ" - ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO CABRAL JR.
- BT/PEE/9602 - "Coleção Artificial Neural Networks: Uma Visão Geral dos Sistemas Neurais Artificiais de Stephen Grossberg" - CHIU HSIUNG HUANG
- BT/PEE/9603 - "Reactively-Sputtered TiN Formation Using a RF Magnetron System"- SÉRGIO PAULO AMARAL OSÓRIO, LUIZ SÉRGIO ZASNICOFF
- BT/PEE/9604 - Aspectos em Tradução de Linguagens Naturais Através de Redes Neurais Artificiais - CARLOS EDUARDO DANTAS DE MENEZES, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9605 - Implementação de Blocos Passa-Tudo Utilizando Realimentação de Erro - SÉRGIO JOSÉ CARNEIRO LEÃO, MAX GERKEN
- BT/PEE/9606 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9607 - Coleção SANN group Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Steinbuch - ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9608 - Desenvolvimento de uma Estrutura de Duplo Nível de Metal para a Confecção de Interconexões em Circuitos Integrados - JOSÉ AUGUSTO DE ALENCAR PEREIRA, LUIZ CARLOS MOLINA TORRES
- BT/PEE/9609 - Determinação de Parâmetros de Processo para Fotomáscara "Balzers" Utilizando Gerador de Padrões - JORGE SEKI, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9610 - Um Ambiente para Desenvolvimento de Sistemas Distribuídos - PEDRO F. ROSA, JOÃO A. ZUFFO
- BT/PEE/9611 - Interpretações Teóricas do Funcionamento Cerebelar: Uma Revisão - MARCUS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9612 - Marcapasso Cardíaco Temporário Microcontrolado de Demanda e Baixo Consumo - FLAVIO ANTONIO MENEGOLA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9613 - Um Sistema de Planejamento de Ação Baseado em Casos para uma Célula Flexível de Manufatura - RICARDO LUIS DE FREITAS, MÁRCIO RILLO
- BT/PEE/9614 - Aplicações do Boundary-Scan para o Teste de Módulos Multichip - ROBERTO C. COSSI JR., JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PEE/9615 - A 2.488 Gb/s GaAs 1:4/1:16 Demultiplexer IC with Skip Circuit for Sonet STS-12/48 Systems - TAUFIK ABRÃO, FATIMA S. CORRERA
- BT/PEE/9616 - Uma Contribuição para a Construção de Algoritmos em Projetos de Redes - ALLAN DE SOUZA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9617 - Análise Crítica dos Métodos de Medição do Intervalo QT do Eletrocardiograma - SÍDNEY DA SILVA VIANA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9618 - Deposição e Caracterização de Filmes de SiO<sub>2</sub> Crescidos pela Técnica de PECVD a Baixa Temperatura - MARCO ALAYO CHÁVEZ, INÉS PEREYRA
- BT/PEE/9619 - PARSTOOL: Uma Ferramenta de Auxílio à Simulação de Sistemas Paralelos - LI KUAN CHING, LIRIA MATSUMOTO SATO
- BT/PEE/9620 - Análise de um Método de Otimização por Malha no Treinamento de Robôs - OLÍMPIO MURILO CAPELI, JOSÉ CARLOS T. B. MORAES, SADAIO ISOTANI
- BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCHE, LAÉRCIO LUCCHESI
- BT/PEE/9702 - Analysis of the Subthreshold Slope Transition Region in SOI nMOSFET - VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PEE/9703 - Introduction of the SOI MOSFET Dimensions in the High-Temperature Leakage Drain Current Model - MARCELO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE
- BT/PEE/9704 - Controle de Largura de Banda Dinâmica para Transmissões Multicast para Redes de Alta Velocidade - SANG SOON LEE, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PEE/9705 - Uma Modificação Proposta para o Controle Preditivo Generalizado com Filtro de Kalman - JAIME QUINTERO R., OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9706 - Aplicações de Redes Neurais em Previsões Financeiras - OLÍMPIO MURILO CAPELI, EUVALDO F. CABRAL JR.

- BT/PEE/9707 - Sistema Microcontrolado, Multicanal e Portátil para Estimulação Neuromuscular Funcional - ROGÉRIO QUIARIM ZARZA, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9708 - Requisitos para o Mapeamento Tecnológico em Projetos de Microeletrônica - LUCIANO DE OLIVEIRA CORRÊA DE BRITO, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PEE/9709 - Sistemas PRMA com Dados Acoplados - JOSÉ AUGUSTO DE LIMA, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9710 - Algoritmos Genéticos (AG's) para a Otimização de Controladores Nebulosos - JULIO CESAR CEBALLOS AYA, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9711 - Um Estudo Sobre a Redução de Ruídos em Sinais Caóticos - ERNANE JOSÉ XAVIER COSTA, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9712 - Geradores não Lineares de Sequência para uso em Sistemas Spread Spectrum - ANGEL ANTONIO GONZALEZ MARTINEZ, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSZY
- BT/PEE/9713 - Modelamento Físico do Sistema Heteroestrutura - Metal - CECÍLIA WETTERLE RODRIGUES, MEGUMI SAITO
- BT/PEE/9714 - Tensões Induzidas em Linhas Aéreas por Descargas Atmosféricas Indiretas - Modelagem e Aplicação ao Cálculo de Interrupções - ALEXANDRE PIANTINI, JORGE M. JANISZEWSKI
- BT/PEE/9715 - RECMAP - Uma Ferramenta para Otimização em Síntese de Alto Nível Baseada em Reconhecimento Funcional e Mapeamento de Componentes - ANDRÉ GERHARD, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PEE/9716 - Estudo da Sinterização de Contatos Al/Ti por Recozimento Térmico Rápido Visando a Aplicação em Circuitos Integrados - ANGELO EDUARDO BATTISTINI MARQUES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PEE/9717 - Mixed H2/H- Control of Discrete-Time Markovian Jump Linear Systems - OSWALDO L. V. COSTA, RICARDO P. MARQUES
- BT/PEE/9718 - Aluminium Etching with CCl4-N2 Plasmas - ANGELA MAKIE MAKAZAWA, PATRICK VERDONCK
- BT/PEE/9719 - O Uso de Resistes Amplificados Quimicamente e de Sililação em Litrografia por Feixe de Elétrons - ANTONIO C. SEABRA, PATRICK B. VERDONCK
- BT/PEE/9720 - Implementação de um Simulador de um Circuito Neuro-Medular que Atua no Controle da Força Motora - LUIZ JURANDIR SIMÕES DE ARAÚJO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PEE/9721 - Avaliação das Características Físico-Químicas e Elétricas de Filmes de SiO2 Depositados por PECVD a Partir da Reação entre O2 e TEOS - ALVARO ROMANELLI CARDOSO E CLAUS MARTIN HASENACK
- BT/PEE/9722 - Controle e Simulação Dinâmica de Colunas de Destilação: Aplicação Prática em uma Coluna com Refluxo por Gravidade
- BT/PEE/9723 - Circuitos de Portas Lógicas Primitivas Implementados a Partir de uma Classe de Lógicas Paraconsistentes Anotadas - JOÃO INÁCIO DA SILVA FILHO, JAIR MINORO ABE, PEDRO LUÍS PRÓSPERO SANCHEZ
- BT/PEE/9724 - Lattice Heating and Energy Balance Consideration on the I-V Characteristics of Submicrometer Thin-Film Fully Depleted SOI NMOS Devices - CLAUDIA BRUNETTI, NELSON L. A. BRAGA, LUIZ S. ZASNICOFF
- BT/PEE/9725 - Identificação de um Processo de Neutralização de pH via Redes Neurais - SILVIO FLABOREA, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9726 - Uma Estratégia de Migração de Sistemas de Telefonia Móvel com Tecnologia AMPS para a Tecnologia CDMA - RONALD LUÍS CLARKSON EISNER, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PEE/9727 - Controle de pH Usando Conceitos de Invariantes de Reações e Geometria Diferencial - OSCAR A. ZANABARIA S., CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9728 - Estudo da Influência dos Parâmetros de Recozimento Térmico Rápido na Morfologia dos Filmes de TiSi2 Formados e sua Correlação com a Tensão Mecânica - SILVANA GASPAROTTO DE SOUZA, ARMANDO ANTONIO MARIA LAGANÁ, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9729 - Analysis of Silicon Surface Microirregularities by LASER Light Scattering - JOSÉ CÂNDIDO DE SOUSA FILHO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PEE/9730 - Wavelets in Music Analysis and Synthesis: Timbres Analysis and Perspectives - REGIS ROSSI ALVES FARIA, RUGGERO ANDREA RUSCHIONI, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9731 - Estudo de Efeitos Mútuos da Distribuição de Corrente em Condutores - AUGUSTO CARLOS PAVÃO, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PEE/9801 - Equivalência entre a Semântica da Lógica de Transações e a Semântica de sua Implementação Prolog - PAULO E. SANTOS, FLÁVIO S. C. DA SILVA
- BT/PEE/9802 - Nash Game in Mixed H2/Hoo Control Theory a Convex Optimization Approach - HELENICE OLIVEIRA FLORENTINO, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9803 - Text-Independent Speaker Recognition Using Vector Quantization and Gaussian Mixture Models - THOMAS E. FILGUEIRAS F., RONALDO O. MESSINA E EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9804 - Elementos Piezoresistivos para Sensores de Pressão com Tecnologia CMOS - LUIZ ANTONIO RASIA, E. C. RODRIGUEZ

- BT/PEE/9805 - Automação do Processo de Casamento de Impedância em Sistemas de Aquecimento por Microondas - J. C. DE SOUZA, J. T. SENISE, V. C. PARRO, F. M. PAIT
- BT/PEE/9806 - Considerações para o Projeto de Células de Memória SI com Transistores HEMT - JAIME H. LASSO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PEE/9807 - Covariance Controller with Structure Constraint and Closed Loop H Bound - ANTÔNIO CARLOS DE LIMA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9808 - Controle Unidimensional de Objetos: Uma Aplicação Prática em Fresadora Automática - MÁRCIO A. F. MURATORE, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9809 - Redes Neurais com Retardos Temporais Aplicadas ao Reconhecimento Automático do Locutor - ROGÉRIO CASAGRANDE, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9810 - Topological Computation and Voluntary Control - HENRIQUE SCHÜTZER DEL NERO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA, ALFREDO PORTINARI MARANCA
- BT/PEE/9811 - Casamento de Impedância em Guia de Onda Retangular Utilizando como Variável Medida a Potência Refletida - J. C. DE SOUZA JR., J. T. SENISE
- BT/PEE/9812 - Applied Surface Science - RONALDO D. MANSANO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL
- BT/PEE/9813 - Contribuição ao Estudo da Morfologia da Superfície e da Interface do Siliceto de Titânio Formado sobre Si (100) Empregando a Técnica de Microscopia de Força Atômica (AFM) - N. M. HASAN, A. A. M. LAGANÁ, S. G. SANTOS FILHO
- BT/PEE/9814 - Estudo Experimental da Tensão Mecânica em Filmes Finos de Cobre Obtidos por Evaporação ou Deposição Eletroquímica Espontânea - A. I. HASHIMOTO, S. G. FILHO
- BT/PEE/9815 - Controle Híbrido de Manipuladores Robóticos - WEBER ALLEGRI, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PEE/9816 - Entropia Informacional e Cronobiologia - ANA AMÉLIA BENEDITO SILVA, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PEE/9817 - Estabilidade de Lyapunov e Controle de Atitude - FERNANDO SOUSA, FREITAS JÚNIOR, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PEE/9818 - Projeto de um Conversor de Frequências Resistivo em Tecnologia MMIC - CLÁUDIA C. A. APARÍCIO, DENISE CONSONNI
- BT/PEE/9819 - Estudo de Sensibilidade de um Sistema de Modulação Digital via Simulação - RONALDO DI MAURO, LUIZ ANTONIO BACCALÁ
- BT/PEE/9820 - Engenharia do Conhecimento Aplicada ao Conhecimento Aplicado ao Domínio de Gerenciamento de Falhas em Redes de Comunicação: Uma Abordagem Baseada em Modelo - MARILZA ANTUNES DE LEMOS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9821 - Uma Biblioteca de Métodos de Resolução de Problemas de Planejamento para Fornecer Apoio à Aquisição de Conhecimento - LELIANE NUNES DE BARROS, MARCIO RILLO
- BT/PEE/9822 - Um Estudo de Técnicas de Aprendizado por Reforço Livre de Modelo - Aplicação ao Pêndulo Invertido - SÉRGIO RIBEIRO AUGUSTO, ADEMAR FERREIRA
- BT/PEE/9823 - Identificação de Sistemas Dinâmicos com Redes Neurais - FRANCISCO CARLOS PONS, CLÁUDIO GARCIA
- BT/PEE/9824 - Comparison between Single and Double Langmuir Probe Techniques for Analysis of Inductively Coupled Plasmas - RAUL M. DE CASTRO, GIUSEPPE A. CIRINO, PATRICK VERDONCK, HOMERO S. MACIEL, MARCOS MASSI, MARCELO B. PISANI, RONALDO D. MANSANO
- BT/PEE/9825 - DECMEF: Um Sistema de Decomposição Aplicada à Síntese de Máquinas de Estados Finitos - CARLOS HUMBERTO LLANOS QUINTERO, MARIUS STRUM
- BT/PEE/9826 - Controladores Preditivos Através de Desigualdade Matriciais Lineares - RENATO C. BARÃO, RICARDO P. MARQUES, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9827 - Parametrization of all H2 Optimal Output Feedback Controllers - JOÃO YOSHIYUKI ISHIHARA, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PEE/9901 - Digital Equalization Using Time Delay Neural Network (TDNN) - MARIO ANDRÉS VERGARA ESCOBAR, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9902 - Simulação e Análise Estrutural do Modelo de Deposição da Publicação ICRP 66 - JOAQUIM CARLOS SANCHES CARDOSO, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MOARAES
- BT/PEE/9903 - Modelamento e Ajuste por Regra Sub-Ótica de Maximização da Informação da Mútua de um Sistema Reconhecedor de Palavras Isoladas, Independente do Falante, para Ambientes Adversos, com Redundância de Informação - MÁRIO MINAMI, IVANDRO SANCHES
- BT/PEE/9904 - Modelagem Matemática e Controle Multivariável do Tanque de Contato Empregado no Processo de Lixiviação dos Minerais Niquelíferos - DANIEL GUZMÁN DEL RÍO, CLAUDIO GARCIA
- BT/PEE/9905 - Avaliação de Transdutores para Análise Metabólica Humana - HENRIQUE TAKACHI MORIYA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PEE/9906 - Estudo da Aplicação do Método TLM-2D à Análise de Campos Eletromagnéticos - MARCO ANTONIO MATHIAS, JORGÉ M. JANISZEWSKI





