

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

ISSN 1413-2206

**BT/PEE/9902**

---

**Simulação e Análise Estrutural do  
Modelo de Deposição da  
Publicação ICRP 66**

---

**Joaquim Carlos Sanches Cardoso**  
**José Carlos T. de Barros Moraes**

**São Paulo – 1999**

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Joaquim Carlos Sanches Cardoso, sob orientação do Prof. Dr. José Carlos T. de Barros Moraes.: "Simulação e Análise Estrutural do Modelo de Deposição da Publicação ICRP66", defendida em 23/03/99, na Escola Politécnica.

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

Cardoso, Joaquim Carlos Sanches

Simulação e análise estrutural do modelo de deposição da publicação ICRP 66 / J.C.S. Cardoso, J.C.T.B. Moraes. -- São Paulo : EPUSP, 1999.

21 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9902)

1. Proteção radiológica 2. Simulação (Computadores) 3. ICRP 66  
I. Moraes, José Carlos Teixeira de Barros II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série

ISSN 1413-2206

CDD 539.77  
003.3  
616.2

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL DO MODELO  
DE DEPOSIÇÃO DA PUBLICAÇÃO ICRP 66**

Artigo técnico apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do título  
de Doutor em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:  
Sistemas eletrônicos

Autor: Joaquim Carlos Sanches Cardoso  
Orientador: José Carlos T. de Barros Moraes

São Paulo  
1999

## RESUMO

A International Commission on Radiological Protection (ICRP) apresentou em sua Publicação 66 "The Human Respiratory Tract for Radiological Protection" um modelo de compartimentos para o trato respiratório. Nesta pesquisa abordou-se a simulação e análise do modelo de deposição adotado nesta Publicação, considerando-se como variável em estudo, ou substância básica, a concentração de material radioativo no ar respirado. A morfologia, as dimensões corpóreas e os fatores fisiológicos característicos de homens adultos caucasianos e brasileiros, em várias condições de exposição e níveis de esforço físico, foram levantados da literatura e aplicados no modelo de deposição permitindo, desta maneira, a comparação das eventuais alterações nos padrões de deposição observadas para os dois grupos de indivíduos. O volume corrente do indivíduo exposto, adotado como constante pela ICRP 66, foi substituído por uma função contínua do tempo, possibilitando uma análise dinâmica de algumas variáveis do modelo incluídas na ICRP 66 e consideradas constantes no tempo. Propriedades qualitativas do sistema, correspondente ao modelo de deposição, tais como observabilidade, controlabilidade, estabilidade e identificabilidade, foram verificadas e avaliadas considerando-se os critérios descritos na literatura.

## ABSTRACT

The International Commission on Radiological Protection (ICRP) presented in its Publication 66 "The Human Respiratory Tract for Radiological Protection", a compartmental model for the respiratory tract. The deposition model was simulated and analysed considering as variable in study or basic substance the concentration of radioactive material in breathed air. The corporal morphology, dimensions and characteristic physiologic factors of Caucasians and Brazilians adult men had been raised of literature and applied in the deposition model for various exposure conditions and levels of physical exertion, allowing in this way the matching of the eventual alterations in the observed pattern of deposition for the two groups of individuals. The constant tidal volume of exposed individual adopted by ICRP 66 was substituted by a time continuous function and making possible a dynamic analysis of some parameters considered no variable in the time. Qualitative properties of deposition model correspondent system, such as observability, controllability, stability and identifiability, had been verified and evaluated considering the criteria reported in papers.

## SIMULAÇÃO E ANÁLISE ESTRUTURAL DO MODELO DE DEPOSIÇÃO DA PUBLICAÇÃO ICRP 66

### I. INTRODUÇÃO

O estudo e a aplicação dos modelos que representam a cinética das drogas, dentro de uma certa precisão prefixada, têm se mostrado muito úteis na interpretação e na avaliação prática de vários e importantes fenômenos e processos dinâmicos como, por exemplo, a distribuição de substâncias introduzidas e/ou absorvidas pelos organismos vivos.

Os Órgãos fiscais e normativos têm produzido algumas normas e diretrizes abordando a questão da dosimetria interna. A Publicação "The Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection" da International Commission on Radiological Protection (ICRP), foi utilizada como parte da metodologia adotada para a estimativa dos fatores de risco normalmente assumidos no cálculo das doses de radiação devido à incorporação de radionuclídeos pelos seres humanos. Esta Publicação será referida neste trabalho como ICRP 66, constituindo-se o cerne desta pesquisa a simulação e análise do modelo de deposição nela adotado.

Neste trabalho abordou-se apenas a simulação e análise do modelo de deposição apresentado no Capítulo 5 e no Anexo D da ICRP66 (1994). A variável em estudo, ou substância básica, abordada neste modelo é representada pela concentração de material radioativo no ar respirado e, sendo os compartimentos indistinguíveis, não são consideradas transferências ou transportes intracompartimentos.

Objetivou-se neste artigo a implementação computacional do modelo de deposição da ICRP 66; a verificação da contribuição da morfologia, das dimensões corpóreas e dos fatores fisiológicos, característicos de homens adultos brasileiros, nos resultados finais da deposição nas regiões do trato respiratório; a análise do comportamento dinâmico de algumas variáveis importantes do modelo e a caracterização qualitativa deste.

### II. MATERIAIS E MÉTODOS

#### **Implementação computacional do modelo para aerossóis monodispersos**

No modelo de deposição adotado pela ICRP 66 (1994), cada região do trato respiratório é representada por um filtro de partículas equivalente atuando em série, como mostrado na Figura 2.1. Cada filtro é caracterizado pela sua eficiência na remoção de partículas, a qual, para o  $j$ -ésimo filtro, é representada por  $\eta_j$ .

Cada respiração é simulada por um fluxo corrente que carrega partículas e atravessa cada região anatômica. Este fluxo atinge o trato respiratório através de duas vias de incorporação, a via nasal e a via oral. Os subscritos "in" e "ex" utilizados no modelo representam, respectivamente, as fases de inalação e expiração do ciclo respiratório.

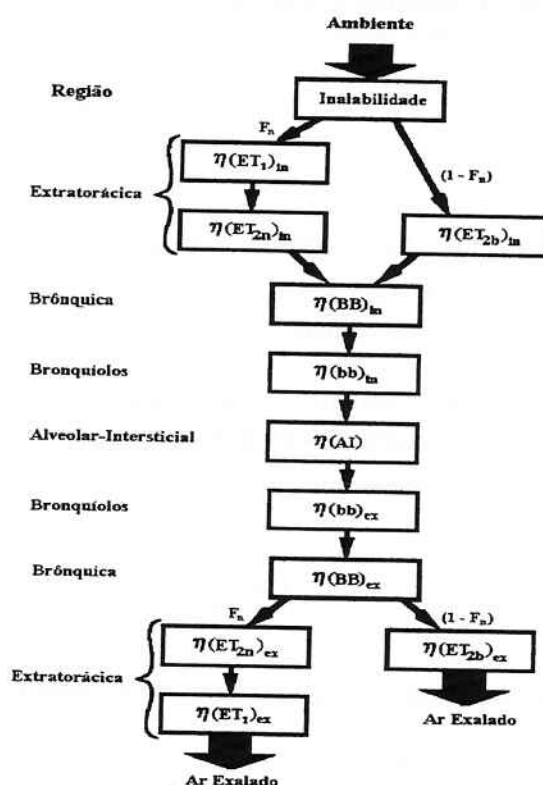


Fig. 2.1: Modelo de compartimentos do trato respiratório representando a entrada, as saídas e a deposição das partículas, durante um ciclo respiratório contínuo.

Os parâmetros utilizados no modelo são basicamente dados anatômicos e fisiológicos característicos do indivíduo em estudo. Para o ajuste entre as dimensões anatômicas no indivíduo estudado e no homem referência caucasiano são, ainda, utilizados o parâmetro  $SF_t$ , dado pela razão entre o diâmetro da traquéia no homem referência caucasiano e no indivíduo analisado, a razão entre o diâmetro da primeira via aérea dos bronquíolos (geração 9) no adulto referência e no indivíduo analisado, denotada por  $SF_b$ , e a razão entre o diâmetro do primeiro bronquíolo respiratório (geração 16) no adulto referência e no indivíduo analisado, denotada por  $SF_A$  (ICRP, 1994).

Os processos que regem a deposição das partículas, nas várias regiões do trato respiratório, dependem fortemente do tamanho destas partículas. Partículas com diâmetros maiores que cerca de  $0,5 \mu m$  são depositadas principalmente pelos chamados processos de transporte aerodinâmicos de deslocamento inercial, referenciados como impactação, e de precipitação gravitacional, referenciados como sedimentação. As propriedades físicas de uma partícula que determinam seu transporte aerodinâmico são combinadas em um único parâmetro chamado diâmetro aerodinâmico.

As partículas com diâmetros menores que poucos décimos de micrômetro são depositadas principalmente pelo processo de transporte termodinâmico de difusão Browniana. As propriedades da partícula que determinam seu transporte termodinâmico também podem ser utilizadas para definir o diâmetro termodinâmico desta partícula.

O diâmetro termodinâmico da partícula é obtido em função de seu diâmetro aerodinâmico utilizando-se a seguinte equação:

$$d_{th} = d_{ae} \sqrt{\frac{\chi \rho_0 C(d_{ae})}{\rho C(d_{th})}} \quad (1)$$

onde  $\chi$  representa o fator de forma da partícula,  $\rho$  a densidade da partícula,  $\rho_0$  a densidade unitária ( $1 \text{ g/cm}^3$ ),  $C(d_{ae})$  e  $C(d_{th})$  os fatores de correção do deslizamento de uma partícula de diâmetro aerodinâmico  $d_{ae}$  e de diâmetro termodinâmico  $d_{th}$ , respectivamente.

Considerando o fator volumétrico  $\phi$  e as eficiências dos filtros em série, a fração do número de partículas retiradas do ambiente pelo filtro inicial,  $I_0$ , que se depositam no  $j$ -ésimo filtro é representada por:

$$DE_j = DE_{j-1} \eta_j \frac{\phi_j}{\phi_{j-1}} \left( \frac{1}{\eta_{j-1}} - 1 \right), \text{ para } j = 1, N \quad (2)$$

#### Implementação computacional do modelo para aerossóis polidispersos

As frações de deposição nas várias regiões do trato respiratório são definidas pela ICRP (1994) inicialmente para valores discretos do tamanho da partícula (aerossóis monodispersos). Na prática é necessário considerar-se que os aerossóis radioativos geralmente consistem de uma distribuição logarítmica de tamanhos de partículas (TGLD, 1966). Os parâmetros que caracterizam a deposição de atividade no trato respiratório são então os diâmetros medianos aerodinâmicos (AMAD) ou termodinâmicos (AMTD), respectivamente, associados às componentes aerodinâmicas e termodinâmicas da deposição.

Para se obter os valores de referência da deposição para aerossóis com partículas de tamanhos diferentes, ou polidispersos, a ICRP 66 (1994) assumiu que o desvio padrão geométrico ( $\sigma_g$ ) fosse definido por:

$$\sigma_g = 1 + 1,5 \left[ 1 - \left( 100 \text{ AMTD}^{1,5} + 1 \right)^{-1} \right] \quad (3)$$

onde AMTD (em  $\mu\text{m}$ ) representa o diâmetro termodinâmico mediano em atividade do aerossol considerado.

Considerando-se que os aerossóis radioativos geralmente consistem de partículas distribuídas log-normalmente em função do diâmetro, MERCER (1964) adotou as seguintes relações para a estimativa dos parâmetros da população total de partículas, a partir de uma amostra randômica de tamanho  $N$ :

$$\ln d_g = \sum \frac{\ln d}{N} \quad (4)$$



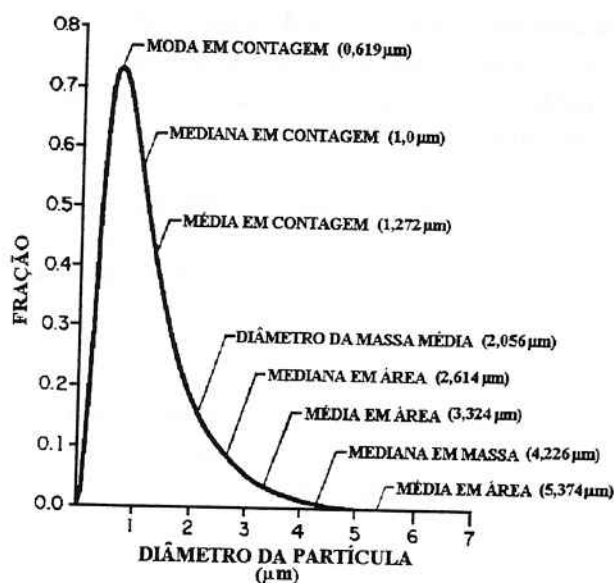
e,

$$\ln^2 \sigma_g = \sum \frac{(\ln d - \ln d_g)^2}{(N-1)} \quad (5)$$

As grandezas  $\ln d_g$  e  $\ln \sigma_g$  representam, respectivamente, estimativas da média do logaritmo dos diâmetros ( $d$ ) e do desvio padrão da população total.

A distribuição log-normal está diretamente ligada à distribuição normal. A variável contínua não negativa  $X$  é considerada como tendo uma distribuição log-normal se  $\log X$  é normalmente distribuída, isto é, se  $X$  tem a forma  $e^Y$ , onde  $Y$  é normalmente distribuída (CHOI, 1978).

Na Figura 2.2 está representada uma distribuição log-normal com indicações dos principais parâmetros associados a este tipo de distribuição. Da mesma forma que na distribuições normal, a mediana (em contagem, em superfície, em massa, etc.) e o desvio padrão definem todas as propriedades da distribuição.



**Fig. 2.2:** Representação da distribuição log-normal. Os valores entre parênteses foram calculados para um diâmetro mediano em contagem assumido como  $1,0 \mu\text{m}$  e um desvio padrão geométrico igual a  $2,0$ . (TGLD, 1966)

Sendo  $\mu$  a média de  $Y = \log X$ , a mediana de  $X$  é dada por (CHOI, 1978):

$$d_g = e^\mu \quad (6)$$

Do mesmo modo, o desvio padrão geométrico ( $\sigma_g$ ) pode ser calculado pela expressão (CROW; SHIMIZU, 1988):

$$\sigma_g = e^\sigma \quad (7)$$

onde  $\sigma$  representa o desvio padrão de  $Y = \log X$ .

Para estimar o diâmetro mediano em massa da distribuição,  $d_m$ , MERCER (1964) utilizou a seguinte equação:

$$\ln d_m = \ln d_g + 3 \cdot \ln^2 \sigma_g \quad (8)$$

Os diâmetros termodinâmicos medianos em atividade (AMTD) foram gerados utilizando-se a função "logspace" do programa MATLAB, utilizada na geração dos  $d_{ae}$ 's descrita no Item anterior. Lembrando-se que a aplicação da Equação 1 fornece valores para os  $d_{ae}$ 's sempre superiores aos dos  $d_{th}$ 's utilizados, a faixa de valores para os AMTD's deve ser larga o suficiente para possibilitar a obtenção dos valores de AMAD desejados. Assim, como havia interesse em AMAD's da ordem de 100  $\mu m$ , gerou-se AMTD's de até 1000  $\mu m$ .

O desvio padrão geométrico termodinâmico (SGt) no tamanho da partícula foi adotado como unitário para partículas com AMTD's menores que  $5 \times 10^{-4} \mu m$ , 2.5 para aerossóis com um tamanho médio maior ou igual à 1  $\mu m$ , ou calculado pela Equação 3, para aerossóis de tamanhos intermediários.

Como a radioatividade transportada por uma única partícula de um aerossol contaminado não é necessariamente proporcional à sua massa, o Task Group on Lung Dynamics (TLGD, 1966) interpretou este diâmetro mediano em massa como o diâmetro mediano em atividade (AMD).

Desta maneira, utilizou-se a Equação 8 para, a partir de AMTD e de SGt, calcular o diâmetro termodinâmico mediano  $d_{gt}$  da distribuição log-normal. A partir das Equações 6 e 7 obteve-se a média e o desvio padrão da distribuição normal de diâmetros termodinâmicos  $m_t$  e  $s_t$ , respectivamente.

Para cada valor de AMTD e, por consequência de  $m_t$  e  $s_t$ , foram gerados diâmetros termodinâmicos ( $d_{th}$ ) utilizando-se a função "lognrnd(MU,SIGMA)" do programa MATLAB, que gera uma matriz de números randômicos escolhidos de uma distribuição log-normal com parâmetros MU e SIGMA, indicados por  $m_t$  e  $s_t$ , respectivamente. Os diâmetros aerodinâmicos das partículas ( $d_{ae}$ ) foram obtidos recursivamente utilizando-se a relação entre estes dois diâmetros apresentada na Equação 1. A fração de deposição nas regiões do trato respiratório foi calculada utilizando-se a Equação 2. Finalmente, foram calculadas as frações totais referentes a cada distribuição de diâmetros, tomadas como a média de cada coluna das matrizes de deposição em cada região do trato respiratório.

Através das Equações 4, 5 e 8 cada coluna da matriz de valores de  $d_{ae}$  possibilitou o cálculo do desvio padrão geométrico aerodinâmico (SGa) e, por consequência, do diâmetro aerodinâmico mediano em atividade (AMAD) correspondentes.

Os cálculos da fração de deposição nas regiões do trato respiratório foram executados através de uma planilha do programa EXCEL (MICROSOFT, 1997) para aerossóis monodispersos e de uma rotina elaborada para o programa MATLAB (MATHWORKS, 1998) para aerossóis mono e polidispersos. Os dados de entrada utilizados nos programas foram basicamente os parâmetros anatômicos e fisiológicos do indivíduo em estudo.

### Parâmetros morfológicos e fisiológicos de um homem referência brasileiro

MADY (1985) estudou o volume respirado por minuto em 15 indivíduos normais, obtendo valores médios de 10,65 l/min na condição de repouso e 95,79 l/min na condição de exercício pesado. Para a obtenção dos parâmetros espirométricos de referência, PEREIRA (1992) estudou 334 indivíduos do sexo masculino, que não apresentavam sintomas respiratórios considerados significativos, obtendo um valor médio para a capacidade vital de 4304 ml. GUIMARÃES (1994) apresentou como valor médio para o Homem Referência Brasileiro um diâmetro da traquéia de 1,5 cm, baseado em cerca de 10.000 autópsias nos Anuários do Instituto Médico Legal da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. No presente trabalho, estes parâmetros foram utilizados para a avaliação da fração de deposição nas regiões do trato respiratório.

Para os parâmetros relacionados com indivíduos brasileiros e não encontrados na literatura, ou seja, a capacidade residual funcional, o diâmetro do 1º bronquíolo, o volume corrente e os espaços-mortos, admitiu-se que a relação entre estes parâmetros e a capacidade vital e o diâmetro da traquéia, era a mesma para o homem brasileiro e o caucasiano. A Tabela 2.1 sintetiza os parâmetros adotados para o homem brasileiro e para o homem referência caucasiano, estes fornecidos pela Publicação 66 da ICRP (1994).

**TABELA 2.1 - PARÂMETROS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS ADOTADOS NO CÁLCULO DA FRAÇÃO DE DEPOSIÇÃO**

PARÂMETROS	HOMEM BRASILEIRO	HOMEM CAUCASIANO
Taxa de ventilação (m <sup>3</sup> /h)	0,64 (R)	0,45 (R)
Capacidade Vital (l)	5,75 (EP)	3,00 (EP)
Capacidade Residual Funcional (l)	4,304	5,018
Volume corrente (l)	2,831	3,301
Espaço-morto da região extratorácica (l)	0,536 (R)	0,625 (R)
Espaço-morto dos brônquios (l)	1,649 (EP)	1,923 (EP)
Espaço-morto dos bronquíolos (l)	0,043	0,05
Diâmetro da traquéia (cm)	0,042	0,049
Diâmetro da 1ª via dos bronquíolos (cm)	0,04	0,047
Diâmetro do 1º bronquíolo respiratório (cm)	1,5	1,65
	0,1501	0,1651
	0,046	0,051

### Comportamento dinâmico das variáveis fisiológicas aplicadas no modelo de deposição da ICRP 66

Para a geração de uma função dinâmica do volume corrente foi considerada a forma de variação temporal deste parâmetro apresentada por FUNG (1990, pg. 228). Esta mesma forma de onda foi ajustada considerando-se os valores de volume corrente e frequência

respiratória apresentados na Publicação 66 da ICRP (1994), para um homem caucasiano em repouso e com um padrão de respiração normal, ou seja, 0,625 L e 12 ciclos/min, respectivamente.

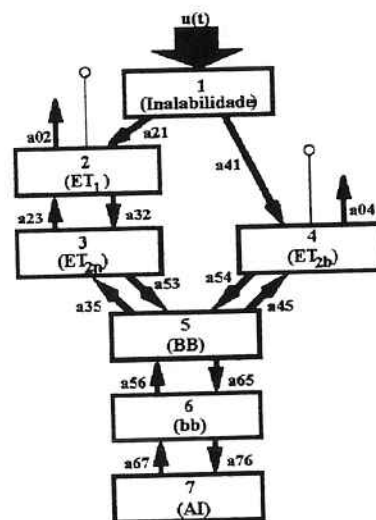
Para adequar-se às magnitudes das variáveis utilizadas nas equações que estruturam o modelo adotado pela ICRP 66 (1994), ajustou-se a forma de onda do volume corrente de maneira a obter-se uma variação de sua frequência e amplitude em torno dos valores médios fornecidos naquela Publicação. A função utilizada para descrever o comportamento dinâmico do volume corrente em litros é dada pela Equação 9.

$$V_C = 0,625 + 0,3125 \cdot \text{sen}(1,2566 t - 1,5708) \quad (9)$$

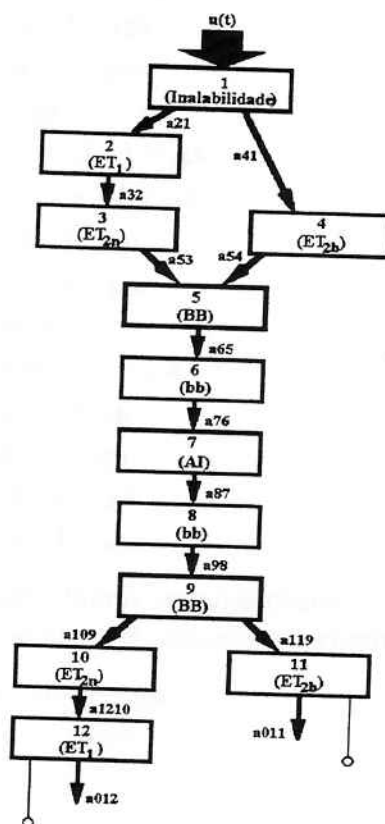
### O método dos compartimentos aplicado ao modelo de deposição da ICRP 66

Os parâmetros existentes nas equações que compõe o modelo de deposição da ICRP 66 (1994) não apresentam variância temporal permitindo que se utilize o modelo de compartimentos linear e invariante no tempo apresentado por FAGUNDES (1986).

No sistema adotado pela ICRP (1994), a saída do  $j$ -ésimo filtro fornece a entrada para o  $(j+1)$ -ésimo. Desta maneira, se  $x_i(t)$  representa a concentração de material no compartimento  $i$ , cada fluxo de substância básica que sai deste compartimento pode ser escrito como uma função linear de  $x_j$ , isto é,  $a_{ij}(x_j)$ , com  $j = 1, 2, \dots, i, \dots, n$ . Foram analisadas duas possíveis configurações para a estrutura do modelo de deposição da ICRP, apresentadas nas Figuras 2.3 e 2.4.



**Fig. 2.3:** Modelo de sete compartimentos utilizado para representar a deposição de partículas nas regiões do trato respiratório. A seta maior representa a entrada no compartimento 1 e as linhas com círculos nas pontas indicam os compartimentos observados (2 e 4).



**Fig. 2.4:** Estrutura com doze compartimentos utilizada para representar o modelo de deposição adotado pela ICRP (1994). A seta maior representa a entrada no compartimento 1 e as linhas com círculos nas pontas indicam os compartimentos observados (11 e 12).

A eficiência de retenção do  $j$ -ésimo do filtro,  $\eta_j$ , é definida como a razão entre o complemento da saída do filtro ( $I_{j+1}$ ) e sua entrada ( $I_j$ ) (ICRP, 1994), isto é:

$$\eta_j = \frac{1 - I_{j+1}}{I_j} \quad (10)$$

ou:

$$I_{j+1} = 1 - I_j \cdot \eta_j \quad (11)$$

Utilizando-se a Equação 11 foram obtidos os coeficientes  $a_{ij}$  da matriz  $A$  para a primeira estrutura considerada, em função da incorporação nominal de atividade  $I_0$ , da eficiência de incorporação ou inalabilidade  $\eta_L$ , da fração do fluxo ventilatório total que passa através do nariz  $F_n$ , e da eficiência de retenção de cada região do trato respiratório  $\eta_j$ , resultando:

$$\begin{aligned}
a_{21} &= 1 - I_0 \cdot F_n \cdot (1 - \eta_I) \\
a_{23} &= 1 - a_{35} \cdot \eta_{ET2n} \\
a_{32} &= 1 - a_{21} \cdot \eta_{ET1} \\
a_{35} &= 1 - a_{56} \cdot F_n \cdot \eta_{BBE} \\
a_{41} &= 1 - I_0 \cdot (1 - F_n) \cdot (1 - \eta_I) \\
a_{45} &= 1 - a_{56} \cdot (1 - F_n) \cdot \eta_{BBE} \\
a_{53} &= 1 - a_{32} \cdot \eta_{ET2n} \\
a_{54} &= 1 - a_{41} \cdot \eta_{ET2b} \\
a_{56} &= 1 - a_{67} \cdot \eta_{bb} \\
a_{65} &= 1 - (a_{53} + a_{54}) \cdot \eta_{BBI} \\
a_{67} &= 1 - a_{76} \cdot \eta_{AI} \\
a_{76} &= 1 - a_{65} \cdot \eta_{bb} \\
a_{02} &= 1 - a_{23} \cdot \eta_{ET1} \\
a_{04} &= 1 - a_{45} \cdot \eta_{ET2b}
\end{aligned} \tag{12}$$

Analogamente, foram descritos os coeficientes  $a_{ij}$  da matriz  $A$  para a segunda estrutura considerada, obtendo-se:

$$\begin{aligned}
a_{21} &= 1 - I_0 \cdot F_n \cdot (1 - \eta_I) \\
a_{32} &= 1 - a_{21} \cdot \eta_{ET1} \\
a_{41} &= 1 - I_0 \cdot (1 - F_n) \cdot (1 - \eta_I) \\
a_{53} &= 1 - a_{32} \cdot \eta_{ET2n} \\
a_{54} &= 1 - a_{41} \cdot \eta_{ET2b} \\
a_{65} &= 1 - (a_{53} + a_{54}) \cdot \eta_{BBI} \\
a_{76} &= 1 - a_{65} \cdot \eta_{bb} \\
a_{87} &= 1 - a_{76} \cdot \eta_{AI} \\
a_{98} &= 1 - a_{87} \cdot \eta_{bb} \\
a_{109} &= 1 - a_{98} \cdot F_n \cdot \eta_{BBE} \\
a_{119} &= 1 - a_{98} \cdot (1 - F_n) \cdot \eta_{BBE} \\
a_{1210} &= 1 - a_{109} \cdot \eta_{ET2n} \\
a_{011} &= 1 - a_{119} \cdot \eta_{ET2b} \\
a_{012} &= 1 - a_{1210} \cdot \eta_{ET1}
\end{aligned} \tag{13}$$

As propriedades qualitativas do sistema associado ao modelo de deposição adotado pela ICRP (1994), tais como observabilidade, controlabilidade, estabilidade e identificabilidade, foram verificadas e avaliadas considerando-se os critérios descritos por KAILATH (1980) e FAGUNDES (1986).

### III. RESULTADOS

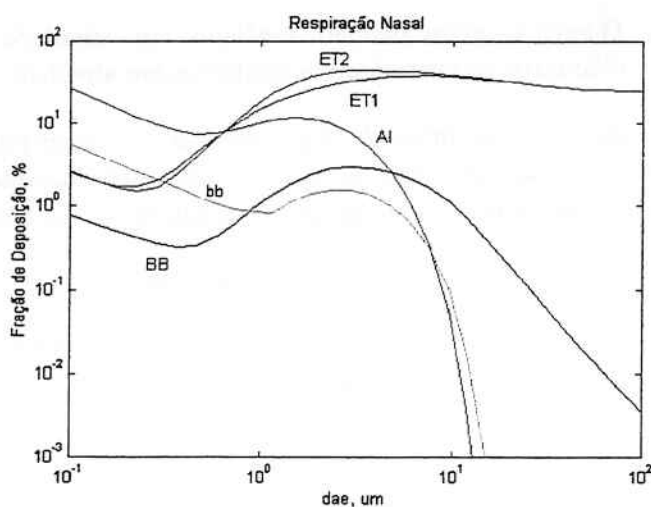
O modelo de deposição da ICRP 66 serviu de base para cinco abordagens teóricas, quais sejam, a implementação computacional do modelo para aerossóis monodispersos, a implementação para aerossóis polidispersos, o estudo da influência dos parâmetros adotados para os diferentes grupos de indivíduos, a verificação do comportamento

dinâmico dos parâmetros do modelo e a análise das propriedades qualitativas dos sistemas associados ao modelo. Os dois primeiros itens tratam das respostas obtidas pela rotina implementada para a simulação do modelo propriamente dito. Para os cálculos envolvendo aerossóis polidispersos, apresenta-se também a relação entre as variáveis que caracterizam a deposição de atividade no trato respiratório, ou seja, o AMTD e o AMAD. Os resultados foram obtidos neste caso para as mesmas condições apresentadas pela ICRP 66, possibilitando assim a comparação entre as duas simulações.

Embora a Publicação da ICRP não apresente as curvas de deposição para um indivíduo caucasiano nas condições de repouso e exercício pesado, estas foram obtidas para a comparação com as repostas simuladas para um indivíduo com características típicas de uma parcela da população brasileira. Adicionalmente, obteve-se as curvas representando o comportamento dinâmico de algumas variáveis do modelo.

### Deposição de um aerossol monodisperso no trato respiratório humano, calculada pelo modelo adotado pela ICRP (1994)

As Fig. 3.1 apresenta as curvas de deposição, para as várias regiões do trato respiratório, em função dos diâmetros aerodinâmico e termodinâmico, considerando os parâmetros adotados para um homem caucasiano respirando pelo nariz ou pela boca, na condição de exercício leve, na qual é assumida uma taxa de respiração média de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

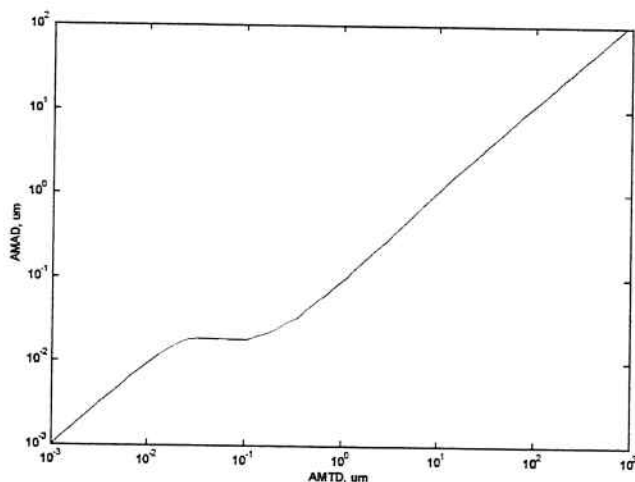


**Fig. 3.1:** Fração de deposição em cada região do trato respiratório, para um homem caucasiano com padrão de respiração nasal, em função do diâmetro aerodinâmico das partículas.

As deposições são expressas como uma fração da incorporação nominal de atividade,  $I_0$ , de 100 Bq, contida em um aerossol formado por partículas com densidade  $3 \text{ g/cm}^3$  e fator de forma 1.5. 50 valores para o diâmetro aerodinâmico da partícula,  $d_{ae}$ , foram gerados entre as décadas  $10^{-3}$  e  $10^2 \mu\text{m}$ . A partir dos valores de  $d_{ae}$  foram gerados 50 valores para os diâmetros termodinâmicos da partícula,  $d_{th}$ , correspondentes.

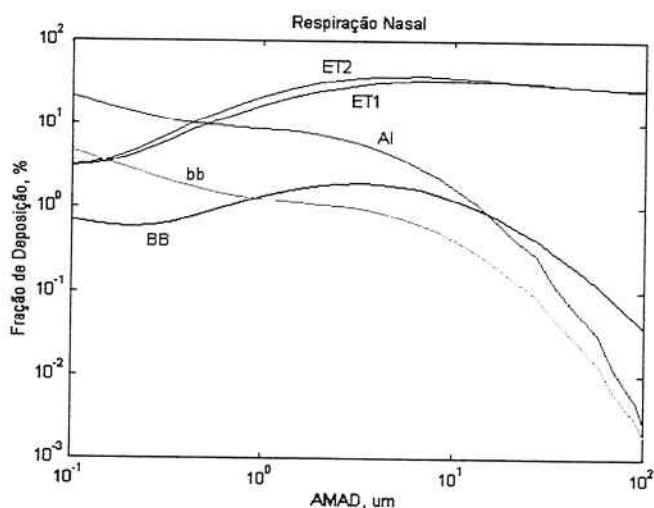
### Cálculo da deposição de um aerossol polidisperso no trato respiratório humano

Para a avaliação da relação entre o diâmetro termodinâmico mediano em atividade (AMTD) e o correspondente aerodinâmico (AMAD), foram gerados valores de AMTD e, para cada valor deste, foram gerados 5000 valores (Figura 3.2) de  $d_{th}$  e de  $d_{ae}$ . Obtidos os valores de  $d_{ae}$ , foram gerados os valores de AMAD correspondentes.



**Fig. 3.2:** Diâmetro aerodinâmico mediano em atividade (AMAD) em função dos diâmetros termodinâmicos medianos em atividade das partículas (AMTD).

A Fig. 3.3 apresenta as curvas de deposição para as várias regiões do trato respiratório de um indivíduo caucasiano, em função dos diâmetros medianos em atividade. Os casos apresentados consideram a geração de 5000 valores de  $d_{th}$  e  $d_{ae}$ , a partir dos AMTD's.

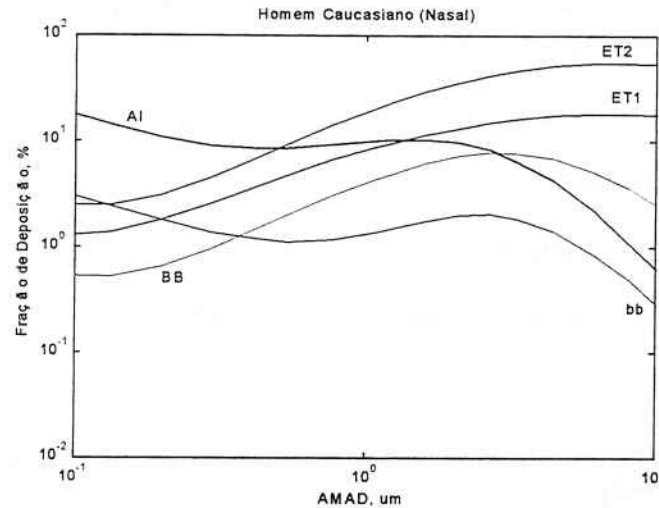


**Fig. 3.3:** Fração de deposição em cada região do trato respiratório, para um padrão de respiração nasal, em função dos diâmetro aerodinâmico mediano em atividade das partículas, obtidos a partir de 40 valores de AMTD's.

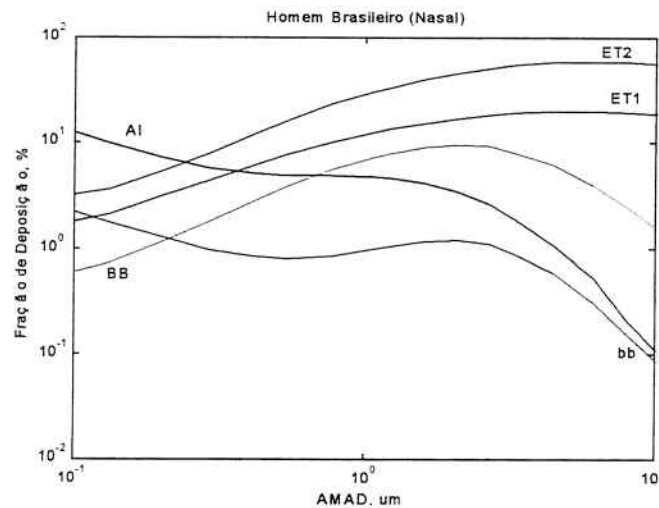


### Influência dos parâmetros morfológicos e fisiológicos associados à uma parcela da população brasileira

As Figuras 3.4 e 3.5 fornecem as curvas de deposição para as várias regiões do trato respiratório, considerando os parâmetros adotados para um homem caucasiano e brasileiro de exercício pesado e respirando pelo nariz.



**Fig. 3.4:** Fração de deposição em cada região do trato respiratório para um homem caucasiano, em condição de exercício pesado e com padrão de respiração nasal.



**Fig. 3.5:** Fração de deposição em cada região do trato respiratório para um homem brasileiro, em condição de exercício pesado e com padrão de respiração nasal.

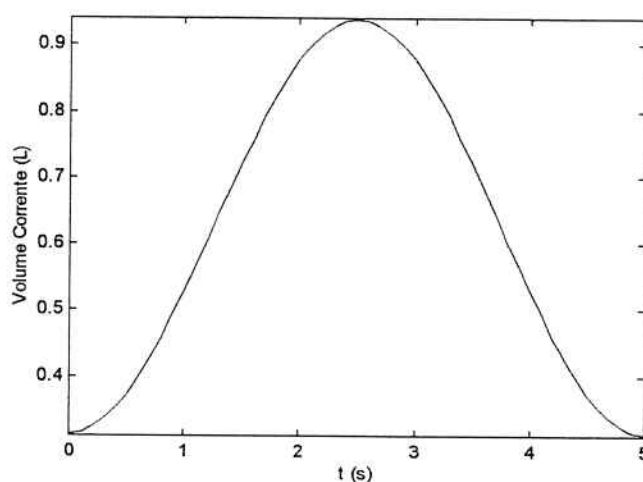
A Tabela 3.1 apresenta as frações de deposição em cada região do trato respiratório, obtidas com os parâmetros relacionados a uma parcela da população brasileira e com parâmetros relacionados ao homem padrão caucasiano, para um aerossol de  $1 \mu\text{m}$  de AMAD e para um padrão de respiração nasal.

**TABELA 3.1 – FRAÇÃO DO MATERIAL DEPOSITADO PARA A CONDIÇÃO DE EXERCÍCIO PESADO E COM PADRÃO DE RESPIRAÇÃO NASAL**

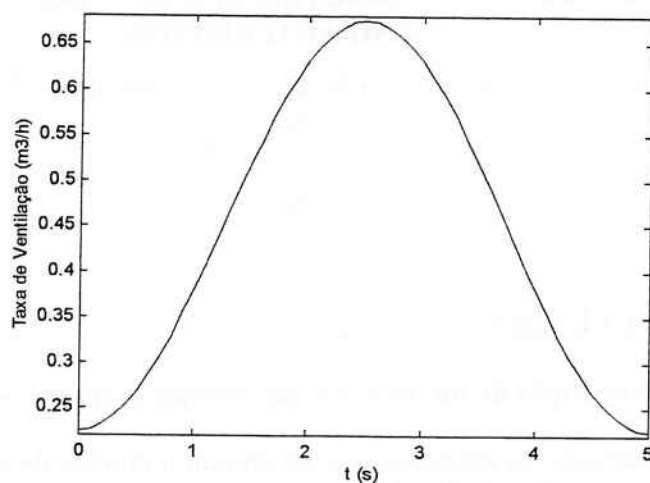
REGIÃO	HOMEM BRASILEIRO	HOMEM CAUCASIANO
Região extratorácica (ET <sub>1</sub> )	12,52	8,68
Região extratorácica (ET <sub>2</sub> )	30,28	20,31
Região dos Brônquios	7,36	4,33
Região dos Bronquíolos	0,99	1,37
Região Alveolar Intersticial	4,71	10,11

**Comportamento dinâmico dos parâmetros fisiológicos do modelo de deposição da ICRP (1994)**

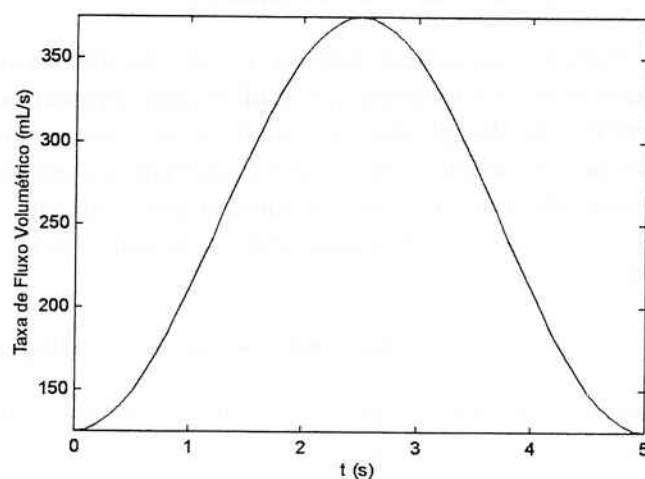
As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam a resposta obtida para as principais variáveis fisiológicas utilizadas no modelo de deposição da ICRP (1994), quando utilizamos a forma de onda apresentada na Figura 3.6 para o volume corrente.



**Fig. 3.6:** Variação temporal adotada para o volume corrente durante um ciclo respiratório.



**Fig. 3.7:** Comportamento dinâmico obtido para a taxa de ventilação.



**Fig. 3.8:** Comportamento dinâmico obtido para o fluxo de ar.

### Caracterização do sistema pelo método dos compartimentos

As relações apresentadas nas Equações 12 e 13 permitiram também o cálculo das matrizes de observabilidade e de controlabilidade, bem como a verificação das condições de observabilidade, controlabilidade, estabilidade e identificabilidade do sistema para as duas configurações. As Tab. 3.2 e 3.3 descrevem as características do sistema para alguns diâmetros aerodinâmicos de partículas.

**TABELA 3.2 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE SETE COMPARTIMENTOS**

$d_{ac}$ ( $\mu\text{m}$ )	$F_n$	Observável	Controlável	Estável	Identificável
1,0	1,0	S	S	S	S
10,0	1,0	S	S	N	S
100,0	1,0	S	S	N	S

**TABELA. 3.3 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE DOZE COMPARTIMENTOS**

$d_{ac}$ ( $\mu\text{m}$ )	$F_n$	Observável	Controlável	Estável	Identificável
1,0	1,0	S	N	S	N
10,0	1,0	S	N	N	S
100,0	1,0	N	N	N	S

#### IV. CONCLUSÕES

##### **A deposição de um aerossol monodisperso no trato respiratório humano**

A implementação das equações que estruturam o modelo de deposição adotado pela ICRP 66 apresenta relativa facilidade em qualquer tipo de programa que apresente como recurso ferramentas para o cálculo recursivo, utilizado para a obtenção dos diâmetros termodinâmicos em função dos aerodinâmicos, ou vice-versa. O tempo de computação é bastante razoável, sendo da ordem de minutos.

Esta implementação computacional do modelo de deposição apresentado na Publicação 66 da International Commission on Radiological Protection (ICRP, 1994), possibilitou não só a verificação da aplicabilidade de dois programas comerciais de fácil acesso e uso, na manipulação do modelo, como também permitiu a avaliação da deposição de partículas em cada região do trato respiratório humano para este tipo de aerossol, não apresentada pela ICRP e por outras publicações sobre o assunto (BAILEY, 1994; BAIR 1995; and BOECKER, 1995).

##### **O cálculo para aerossóis polidispersos**

A implementação do modelo para aerossóis polidispersos fica restrito a programas que possibilitem a geração randômica dos valores de  $d_{th}$  ou que, ao menos, apresentem compatibilidade com rotinas que permitam esta geração. O tempo de computação é razoavelmente maior do que no caso anterior porém, se considerarmos que nos casos práticos trabalha-se com poucos valores de AMAD, este não chega a ser um fator limitante.

Para um indivíduo com um padrão de respiração nasal as simulações mostram que ao analisar-se o comportamento das frações de deposição em função do AMAD (Fig. 3.3), este apresenta um padrão de variação entre  $10^{-1}$  e  $100 \mu\text{m}$  semelhante àquele descrito pela ICRP (1994). Os valores de deposição apresentados pela ICRP no Anexo F de sua Publicação 66 (ICRP, 1994) são todos fornecidos em função do AMTD, não ficando clara a distinção entre os dois diâmetros medianos, AMAD e AMTD, verificada na Fig. 3.2.

Para os aerossóis polidispersos, a abordagem estatística utilizada fornece uma alternativa para a correção adotada pela ICRP, ressaltando as diferenças entre os parâmetros que caracterizam a deposição de atividade no trato respiratório, ou seja, o diâmetro aerodinâmico mediano em atividade (AMAD) e o diâmetro termodinâmico mediano em atividade (AMTD). Paralelamente, a rotina utilizada tem como a base principal de seus

cálculos a distribuição randômica de diâmetros das partículas, o que se aproximaria ainda mais das distribuições de aerossóis observadas experimentalmente.

Os resultados, para as frações de deposição em cada região do trato respiratório, apresentados no Anexo F da Publicação 66 da ICRP (1994) são fornecidos para valores de AMTD's variando de 0,001  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$ , intervalo para o qual os valores de AMAD deixaram de apresentar correspondência direta com os primeiros.

A estrutura matemática, baseada em equações amplamente utilizadas no estudo de distribuições do tipo log-normal, referenda os resultados discrepantes entre os valores de deposição obtidos e aqueles apresentados na ICRP, principalmente na avaliação da variação desta deposição com os AMTD's. O grau de credibilidade que pode ser atribuído aos resultados finais destes cálculos é de fundamental importância para a validação dos resultados finais do modelo em suas aplicações fundamentais, ou seja, fornecer meios para o cálculo da dose por unidade de incorporação, para o ajuste de limites ou para a avaliação da incorporação.

### **Os parâmetros relacionados com o homem brasileiro**

Ao considerar-se os parâmetros relacionados com uma parcela da população brasileira, pode-se notar que a taxa de ventilação é superior àquela descrita para o homem padrão caucasiano, ao contrário dos diâmetros da traquéia e dos bronquíolos que são inferiores.

Analisando-se as equações que compõe o modelo de deposição apresentado pela ICRP (1994), verifica-se uma dependência direta da eficiência dos filtros associados às regiões superiores do trato respiratório (regiões extratorácicas e brônquica) com a taxa de fluxo volumétrico de ar inspirado e, conseqüentemente, com a taxa de ventilação. Esta dependência explica, em parte, o aumento da deposição observada nestas regiões (entre 40 e 80 %) e, conseqüentemente, a diminuição, na mesma proporção, desta deposição nas vias inferiores, ao utilizar-se os parâmetros associados à uma parcela da população brasileira.

Paralelamente, como as dimensões morfológicas adotadas para o homem brasileiro são inferiores àquelas adotadas para o homem caucasiano, os fatores de ajuste aplicados para modelar os efeitos das dimensões anatômicas na deposição nas regiões do trato respiratório, para partículas com dimensões termodinâmicas, serão maiores aumentando ainda mais a eficiência destes filtros.

Estes parâmetros característicos de homens adultos brasileiros, em várias condições de exposição e níveis de esforço físico, mostraram-se fatores importantes na avaliação da deposição observada nas diversas regiões do trato respiratório e, conseqüentemente, os fatores de ajuste, aplicados para modelar os efeitos destas dimensões anatômicas na deposição nas regiões do trato respiratório, serão maiores aumentando ainda mais a eficiência dos filtros associados a estas regiões para partículas com dimensões termodinâmicas.

### **Análise do comportamento dinâmico dos parâmetros fisiológicos do modelo**

Diferentemente de FUNG (1990), o período adotado pela ICRP (1994) para um ciclo respiratório é de 5 segundos. O comportamento dinâmico das variáveis fisiológicas envolvidas com o modelo de deposição da ICRP, mostrou-se condizente com aquele esperado quando avaliamos as funções fisiológicas das vias respiratórias. Durante a inspiração, entre os primeiros 2,5 s, ocorre um aumento do volume corrente, da taxa de ventilação, ou volume minuto respiratório.

A substituição destas funções fisiológicas, adotadas como constantes no modelo, por funções temporais, permitiram a avaliação do comportamento dinâmico de parâmetros importantes para intervalos de tempo da ordem de 1 ciclo respiratório.

### **Caracterização do modelo**

Embora a Publicação 66 da ICRP (1994) não apresente uma estrutura de seu modelo de deposição visando o estudo das características de observabilidade, controlabilidade ou identificabilidade do sistema, a Figura 2.1 indica a adoção de um sistema composto de doze compartimentos.

As propriedades qualitativas do modelo, tais como a observabilidade, a controlabilidade, a estabilidade e a identificabilidade, analisadas aplicando-se alguns fundamentos teóricos adotados no estudo dos modelos compartimentais, permitiram verificar que uma configuração do modelo de deposição apresentado pela ICRP, constando de sete compartimentos, além de ser mais compacta apresenta características estruturais mais adequadas, para um número maior de combinações entre o diâmetro aerodinâmicos das partículas ( $d_{ae}$ ) e os padrões de respiração.

## **V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CHOI, S.C. **Introductory applied statistics in science**. New Jersey, Prentice-Hall, 1978.
- CROW, E.L.; SHIMIZU, K **Lognormal distributions: theory and applications**. New York, Marcel Dekker, 1988.
- FAGUNDES, R.R. **Sobre a identificabilidade de modelos compartimentais**. São Paulo, 1986. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da USP.
- FUNG, Y.C. **Biomechanics: motion, flow, stress, and growth**. New York, Springer-Verlag Inc., 1990.
- GUIMARÃES, M.I.C.C. **Desenvolvimento do manequim matemático do homem brasileiro para cálculos de dosimetria interna**. São Paulo: 1994. Tese (Doutoramento) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **The human respiratory tract model - Publication No. 66**. Oxford, 1994.
- 
- KAILATH, T. **Linear systems**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, Inc., 1980.

- MADY, C. **Estudo da capacidade funcional máxima pela ergoespirometria em pacientes portadores da doença de chagas.** São Paulo: 1985. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
- MATHWORKS, INC. **MATLAB, the language of technical computing.** Version 5.2, 1998.
- MERCER, T.T. Aerosol production and characterisation: Some considerations for improving correlation of field and laboratory derived data.. **Health Phys.**, v.10, p.873-87, 1964.
- MICROSOFT, INC. **Microsoft Excel 97.** Version SR-1, 1997.
- PEREIRA, C.A.C. **Valores de referência para a espirometria em uma amostra da população brasileira adulta.** São Paulo, 1992. Tese (Doutorado) - Escola Paulista de Medicina.

## 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 Predictor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Conductoras: 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  $\text{Notch}^a$  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 -  $\text{Ray Tracing}^a$  Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para  $\text{Gate-Arrays}^a$  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 - GERAFILTRO: Sistema para Projeto Automático de Filtros Digitais  $\text{IIR}^a$  (da especificação em alto nível ao leiaute do  $\text{ASIC}^a$ ) - 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 LUÍS 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 Confeção 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 LUÍS 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, SADA O ISOTANI
- BT/PEE/9701 - Identification of Unstable Mechanical Systems - ROBERTO MOURA SALES, ANSELMO BITTAR, MICHAEL PORSCH, 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  $CCl_4-N_2$  Plasmas - ANGELA MAKIE MAKAZAWA, PATRICK VERDONCK
- BT/PEE/9719 - O Uso de Resistes Amplificados Quimicamente e de Sililação em Litografia 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  $SiO_2$  Depositados por PECVD a Partir da Reação entre  $O_2$  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  $TiSi_2$  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 Fº., 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 Aplicada 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.

