

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia Eletrônica

ISSN 1413-2206

BT/PEE/9816

**Entropia Informacional
e Cronobiologia**

**Ana Amélia Benedito Silva
José Roberto Castilho Piqueira**

São Paulo - 1998

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Ana Amélia Benedito

Entropia informacional e cronobiologia / A.A.B. Silva, J.R.C. Piqueira. -- São Paulo : EPUSP, 1998.

21 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Eletrônica, BT/PEE/9816)

1. Sono 2. Cronobiologia 3. Entropia I. Piqueira, José Roberto Castilho II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Eletrônica III. Título IV. Série
ISSN 1413-2206

CDU 612.821.7

573.6

519.722

O presente trabalho é um resumo da tese de doutorado apresentada por Ana Amélia Benedito Silva, sob orientação do Prof. Dr. José Roberto Castillo Piqueira.: "Entropia Informacional e Cronobiologia", defendida em março de 98, 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.

ENTROPIA INFORMACIONAL E CRONOBIOLOGIA

Ana Amélia Benedito Silva
José Robero Castilho Piqueira
Laboratório de Automação e Controle
Departamento de Engenharia Eletrônica - EPUSP

INTRODUÇÃO

Ontogênese do Ciclo vigília-sono - caracterização

O ciclo vigília-sono, ritmo biológico que se caracteriza pela alternância entre o sono e a vigília, é um dos objetos de estudo da Cronobiologia, área da Biologia que investiga as características temporais das funções biológicas. A Cronobiologia tem se desenvolvido, enquanto ramo do conhecimento reconhecido pela comunidade científica internacional, a partir da década de 60.

A alternância entre o sono e a vigília, do ponto de vista de sua evolução, constitui-se em uma adaptação ao ciclo dia-noite, persistindo mesmo na ausência de pistas temporais (Aschoff, 1965). Esta persistência da ritmicidade biológica em ambientes naturais ou artificiais mantidos constantes é uma das demonstrações da determinação *endógena* do ciclo vigília-sono. Neste contexto, adotou-se a expressão *relógios biológicos*, para se referir aos possíveis mecanismos que seriam responsáveis por essa expressão rítmica (Benedito-Silva, 1993). A análise cronobiológica do ciclo vigília-sono tem como objetivo descrever seus componentes rítmicos e investigar os mecanismos que regulam sua expressão.

No ciclo vigília-sono humano pode-se detectar simultaneamente frequências *ultradianas* (período menor que 20 horas), *circadianas* (período maior que 20 e menor que 28 horas) e *infradianas* (período maior que 28 horas) (Paludetti et al., 1988). O peso de cada uma destas faixas de frequência varia com a idade: a frequência circadiana é o principal componente nos adultos, sendo porém menos

dominante nos bebês (Meier-Koll et al., 1978) e nos idosos (Bliwise, 1993), quando componentes ultradianos estão presentes.

Sabe-se que no recém-nascido, a vigília e o sono se alternam segundo um padrão ultradiano, que com o passar do tempo tende a assumir uma organização circadiana ainda desvinculada de fatores ambientais: a criança já dorme um sono longo por dia mas não necessariamente à noite. A partir de uma certa idade, o ciclo vigília-sono já demonstra sincronização com os ciclos ambientais: a criança dorme nesta etapa um sono longo a noite, e faz uma sesta pela manhã e outra a tarde, que mais tarde desaparecem. Este padrão persiste durante a infância e adolescência, etapa do desenvolvimento em que o ciclo vigília-sono continua com padrão circadiano, mas os inícios de sono ficam mais incertos e passam a ocorrer mais tarde relativamente (Carskadon et al., 1993). Durante a fase adulta, o componente circadiano predomina e com o avanço da idade (além dos 50 anos), o processo parece se reverter (Waterhouse e Minors, 1996) com o aparecimento dos cochilos (Bliwise, 1993). Vale lembrar que esta descrição dá apenas um panorama geral da dinâmica do ciclo vigília-sono ao longo da ontogênese, uma vez que os momentos de transição apresentam diferenças individuais importantes e que ainda não se tem estudos populacionais reveladores de tendências dominantes. No presente trabalho será dada maior ênfase aos primeiros meses de vida.

O desenvolvimento dos ritmos circadianos, em várias funções fisiológicas, durante o estágio inicial da infância, têm sido objeto de interesse para quem estuda o surgimento e desenvolvimento dos ritmos biológicos (Davis, 1981; Minors e Waterhouse, 1981). Durante o desenvolvimento, as diferentes funções ou estados do organismo modificam-se e na grande maioria dessas funções observa-se uma expressão rítmica, que aparece em diferentes idades, e passa por um período de maturação antes da expressão externa consolidada (Marques e Menna-Barreto, 1991). Alguns ritmos, como por exemplo o de atividade motora (Parkes, 1992), surgem antes do nascimento, enquanto outros, como por exemplo o ciclo menstrual na espécie humana, só aparecem na puberdade (Louzada, 1995). Estes padrões temporais do desenvolvimento são característicos das espécies

(Smolensky et al., 1972) e segundo Hellbrugge (1960), estão relacionados, dentre outros fatores, com a maturação do sistema neuro-humoral e dos órgãos envolvidos com a sincronização e a expressão dos mesmos com os ciclos ambientais (Louzada, 1995).

Uma abordagem ontogenética do ciclo vigília-sono, trazendo informações sobre a história do estabelecimento deste ritmo, pode então contribuir para uma melhor compreensão do estabelecimento da ritmicidade biológica nos seres vivos e diante delas especular sobre a importância dos *sincronizadores* em cada etapa da vida.

Poucos trabalhos com séries temporais longas de ciclo vigília-sono foram realizadas com crianças nos primeiros meses de vida (Kleitmann e Engelmann, 1953; Hellbrugge, 1960; Parmelee, 1961) e pouco se sabe sobre o exato momento em que o ritmo circadiano do ciclo vigília-sono sincroniza-se às pistas temporais do ambiente. De acordo com alguns autores, esta sincronização não ocorre antes do quarto mês de vida (Parmelee, 1974; Benoit, 1981), ou não antes da 23ª semana de vida (Hellbrugge et al., 1964). Outros autores mostram que para alguns sujeitos o ritmo circadiano já pode estar presente no fim do primeiro mês de vida (Tomioka e Tomioka, 1991; Menna-Barreto, 1994).

Diversas evidências sugerem que o núcleo supraquiasmático do hipotálamo atue como marcapasso circadiano na espécie humana, como em outros mamíferos (Rivkees e Reppert, 1992) e que esta oscilação já estaria presente durante a vida fetal (Reppert e Schwartz, 1983). Na medida em que há evidências que *sinais temporais* maternos chegam ao feto através da placenta (Davis e Manion, 1988), antes mesmo do nascimento do bebê ele já estaria recebendo informações temporais do ambiente, onde a mãe atuaria como o primeiro de uma série de sincronizadores aos quais o ser humano é exposto ao longo da vida.

Em condições normais, o oscilador circadiano é sincronizado às oscilações rítmicas do ambiente, sendo o ciclo claro-escuro o mais conspícuo e conhecido estímulo, não sendo entretanto o único (Rietveld, 1990; Menna-Barreto et al., 1996). Em condições de luz constante, Mann et al. (1986) mostraram que bebês

prematturos poderiam apresentar um atraso no desenvolvimento do ritmo circadiano. Estímulos sociais poderiam também representar pistas temporais circadianas mais ou menos estáveis (Menna-Barreto et al., 1996). Sander et al. (1970) mostraram que em crianças que foram cuidadas por uma única pessoa, o componente circadiano do ciclo vigília-sono instalou-se antes do que em crianças que tenham sido cuidadas por muitas pessoas. Além do mais, a perturbação do sono diurno, provocada pelo ruído de irmãos mais velhos, pode constituir-se num sincronizador social do ciclo vigília-sono (Tomioka e Tomioka, 1991).

Na maior parte dos estudos citados, os dados de vigília e sono foram analisados através de simples inspeção visual de gráficos mostrando a evolução, ao longo dos dias, dos horários de sono e de vigília. Além do mais, nenhuma análise estatística foi utilizada para se avaliar a ritmicidade. Parece-nos entretanto necessário que se utilize uma forma de abordagem mais detalhada para descrever o padrão do ciclo vigília-sono que inclua a detecção das frequências que o compõem. A análise espectral, nesse sentido, parece preencher este requisito, sendo de grande utilidade para análise de fenômenos periódicos, sendo possível a detecção simultânea das diferentes frequências presentes no ciclo vigília-sono. Tomioka e Tomioka (1991) utilizaram a técnica denominada "Maximal Entropy Spectral Analysis - MESA" (Dowse e Ringo, 1989) para detectar componentes periódicos em dados de vigília e sono. Em Menna-Barreto et al. (1996) e em Menna-Barreto et al. (1993), as séries temporais de ciclo vigília-sono foram submetidas à análise espectral, através da transformada rápida de Fourier, e o conjunto de frequências estatisticamente significativas dentre aquelas detectadas pela transformada rápida de Fourier foram selecionadas através de um teste de múltiplas periodicidades (Siegel, 1980; Benedito-Silva et al., 1996).

As oscilações presentes em dados de ciclo vigília-sono, de crianças de 3 a 14 meses, foram investigadas em Benedito-Silva (1993), através de técnicas de análise espectral (Shumway, 1988). Foi utilizada uma técnica de seleção de múltiplas periodicidades, que permite a caracterização do padrão temporal do ciclo vigília-sono como o conjunto de frequências simultaneamente significativas presentes no

espectro (Benedito-Silva et al., 1996). A partir de conjuntos de frequências, foi aplicada a *análise hierárquica de conglomerados* (Ghett, 1978; Sneath e Sokal, 1973) para reunir indivíduos que apresentassem os mesmos padrões temporais do ciclo vigília-sono e conseqüentemente separando aqueles que se encontrassem em estágios diferentes. Neste caso, tinha-se como hipótese que indivíduos que estivessem no mesmo estágio de desenvolvimento do ciclo vigília-sono ficariam num mesmo conglomerado. Assim sendo, os conglomerados poderiam conter indivíduos com diferentes idades cronológicas já que, como dito acima, a idade em que o ciclo vigília-sono adquire um padrão circadiano apresenta uma grande variabilidade interindividual.

O presente projeto propõe-se a acompanhar o desenvolvimento do ciclo vigília-sono de uma forma um pouco diferente: será proposta uma medida, baseada na Teoria da Informação de Shannon (1949), que permita mostrar a evolução do ciclo vigília-sono com a idade e ao mesmo tempo avaliar as diferenças interindividuais. A evolução desta medida poderia estar expressando o grau de organização do sistema, representado pelo ciclo vigília-sono, em função do tempo. Nos próximos itens serão apresentadas as idéias básicas que norteiam a Teoria da Informação, para em seguida discutir a possibilidade de associar essas idéias aos conceitos de ontogênese.

Entropia Informacional - caracterização

A teoria da Informação vem da Engenharia de Comunicações (Shannon, 1949) e fornece medidas que permitem a quantificação da informação transmitida entre indivíduos (Wulfften Palthe, et al., 1990). Do ponto de vista da Teoria da Informação, o termo informação não é sinônimo de significado, pois não se refere ao seu conteúdo, nem ao seu valor, nem tampouco a sua veracidade (Miller, 1953), mas apenas à quantidade de informação medida. Duas mensagens, uma com significado e a outra não, podem ser equivalentes no que concerne à informação. Isto é o que Shannon (1949) quer dizer quando afirma que "os aspectos semânticos da comunicação são irrelevantes para o engenheiro". Entretanto, não se pode dizer

que os aspectos relevantes para o engenheiro sejam necessariamente irrelevantes para os aspectos semânticos.

Intuitivamente, dizemos que um evento contém pouca informação se a sua ocorrência não acrescenta novos conhecimentos (Sato, 1995). Suponhamos que uma pessoa faça planos de viajar para Chicago. A fim de saber que tipo de roupa deve levar consigo, telefona para o serviço de meteorologia daquela cidade, obtendo o seguinte boletim: o sol vai nascer, vai chover e vai haver um furacão.

É claro que a quantidade de informação ganha com estas mensagens é bem diferente. A primeira praticamente não possui qualquer informação, posto que é certo que o sol vai nascer, não há incerteza sobre isso, e a pergunta foi desperdiçada. Por seu turno, a previsão de chuva já é útil, e fornece informação não previamente disponível ao viajante, pois nem todo dia chove. Além disso, a terceira contém ainda mais informação, já que a ocorrência de um furacão é um fato raro e inesperado (Carlson, 1981). Quanto menos comum a mensagem, maior a quantidade de informação transmitida ao usuário. Parece então que a medida de informação deve relacionar-se com a incerteza: a incerteza do usuário acerca do conteúdo da mensagem.

Alternativamente, indo ao ponto de transmissão de um sistema de comunicações, a medida de informação é uma indicação acerca da liberdade de escolha exercida pela fonte em selecionar uma mensagem. Se a fonte puder escolher, com liberdade absoluta, uma dentre diversas mensagens diferentes, o usuário terá grande incerteza sobre qual mensagem será escolhida. Mas se não houver o que escolher (apenas uma mensagem a processar), não haverá incerteza e, portanto, não haverá informação.

Qualquer que seja a ênfase preferida, o ponto de vista da incerteza ou a interpretação da liberdade de escolha, é evidente que a medida de informação deve envolver probabilidades. As mensagens altamente prováveis, ou com alta probabilidade de ocorrerem, indicando pouca incerteza do usuário ou reduzida opção de escolha por parte da fonte, contém uma pequena quantidade de informação, e vice-versa.

Parece-nos então importante neste ponto discutirmos formas de se medir quantidades de informação. Consideremos uma fonte capaz de produzir diversos símbolos A, B, C,... sendo P_A , P_B , P_C ... as probabilidades destes símbolos serem escolhidos para a transmissão. Precisamos então determinar a função que associa a quantidade de informação contida no símbolo A, I_A , à probabilidade P_A deste símbolo ocorrer. Teríamos que determinar uma função f tal que

$$I_A = f(P_A)$$

$$\text{sendo que } I_A \geq 0 \quad (\text{condição 1})$$

$$\text{se } P_A = 1 \text{ então } I_A = 0 \quad (\text{condição 2})$$

$$\text{se } P_A > P_B \text{ então } I_A < I_B \quad (\text{condição 3})$$

Além das 3 condições acima, devemos lembrar, na determinação de f , que os símbolos devem ser independentes, ou seja, quando A for enviado, o usuário receberá I_A unidades de informação. Se, em seguida, outro símbolo B for enviado, a informação total recebida deverá ser $I_A + I_B$. Esta regra da soma pode ser facilmente inferida caso A e B tenham sido originados de fontes distintas. Entretanto, se ambos os símbolos provierem da mesma fonte, poder-se-ia pensar que o símbolo recebido será $C=AB$. Se A e B são estatisticamente independentes, $P_C = P_A \cdot P_B$ e $I_C = f(P_A \cdot P_B)$. Entretanto, a informação recebida ainda é

$$I_C = I_A + I_B = f(P_A) + f(P_B)$$

$$\text{de forma que: } f(P_A \cdot P_B) = f(P_A) + f(P_B) \quad (\text{condição 4})$$

Há uma e apenas uma função capaz de satisfazer as condições acima (Ash, 1965), qual seja, a função logarítmica, $f(x) = -\log_b(x)$, onde b representa a base logarítmica.

$$\text{Logo } I_A = -\log_b(P_A) = \log_b(1/P_A)$$

Para especificar a base logarítmica b deve-se selecionar a unidade de informação, que na teoria da informação é o *bit*, abreviação de *binary digit*. Desta forma, a *quantidade de informação* contida no símbolo A é

$$I_A = \log_2(1/P_A) \quad (1)$$

Vimos então ser possível medir a quantidade de informação contida num símbolo. Entretanto, ela não é uma medida boa para se descrever uma fonte, no que tange o projeto de um sistema de comunicações pois ele não é projetado em torno de um símbolo particular mas de todas os símbolos possíveis.

É uma questão semelhante à potência de um sinal elétrico variável no tempo: às vezes é conveniente caracterizá-lo por sua potência média. Analogamente, apesar da informação proveniente de uma fonte ser aleatória, a fonte pode ser caracterizada pela informação média produzida, quantidade denominada *entropia* da fonte.

A medida de entropia, para uma fonte discreta cujos símbolos sejam estatisticamente independentes, é formulada da maneira que se segue. Seja m o número de símbolos diferentes, isto é, um alfabeto de dimensão m . Quando o j -ésimo símbolo for transmitido, a mensagem conterà $I_j = \log_2 (1/P_j)$ bits de informação. Em uma mensagem longa, com $N \gg 1$ símbolos, o j -ésimo símbolo ocorrerá cerca de NP_j vezes, de modo que a informação total, expressa em bits, contida nessa mensagem é aproximadamente

$$NP_1 I_1 + NP_2 I_2 + \dots + NP_m I_m = \sum_{j=1}^m NP_j I_j$$

Se dividirmos a somatória acima por N e substituirmos I_j pela equação (1), teremos a informação média por símbolo. Definimos então *entropia informacional*, medida em bits/símbolo, como sendo

$$H = \sum_{j=1}^m P_j I_j = \sum_{j=1}^m (P_j \log_2 (1/P_j)) \quad (2)$$

Observando-se a equação acima, o limite inferior de H é zero, que corresponde à fonte não fornecer nenhuma informação em média, isto é, não há nenhuma incerteza a respeito da mensagem. Quanto ao limite máximo de H , ele é dado por $\log_2 m$ (Guiasu e Theodorescu, 1968), que corresponde à máxima incerteza (todos os símbolos são igualmente prováveis) ou à máxima liberdade de escolha (não há símbolo preferido). Em resumo, $0 \leq H \leq \log_2 m$.

Deve-se observar que a equação de H é uma média de conjunto. Se a fonte for não estacionária, as probabilidades inerentes aos símbolos poderão variar com o tempo, de modo que a entropia associada não é muito significativa. Para que as médias de conjunto e temporal sejam idênticas, as fontes de informação devem ser *ergódicas*.

Em resumo, embora não se possa dizer qual é o próximo símbolo que a fonte produzirá, pode-se esperar, na média, H bits de informação por símbolo, ou NH bits para uma mensagem de N símbolos, se N for grande.

De tudo que foi dito sobre a teoria da informação, pode-se dizer que ela fornece um índice para se medir organização, uma vez que se um sistema é bem organizado ele é previsível: sabe-se quase tudo que vai acontecer com ele antecipadamente. Em um sistema bem-organizado, a ocorrência de um evento novo pouco acrescenta ao que já se sabia sobre ele - pouca informação é adquirida. Quanto mais desorganizado e imprevisível for o sistema, mais informação adquire-se observando-o. Informação, organização e previsibilidade parecem andar juntas neste contexto teórico.

Ontogênese e Entropia Informacional

Neste item, procuraremos discutir a possibilidade de descrever o desenvolvimento do padrão temporal do ciclo vigília-sono através da medida de entropia informacional de Shannon (1949).

Apesar de haver muitas maneiras diferentes de se formar o conjunto de frequências que compõem o padrão temporal do ciclo vigília-sono, apenas uma pequena quantidade delas satisfaz certas funções inerentes ao ciclo vigília-sono no que tange à adaptação ao meio ambiente. Isto quer dizer que o padrão temporal do ciclo vigília-sono de um sujeito adulto dificilmente poderia ser formado exclusivamente por frequências ultradianas, pois tal padrão refletiria uma condição de baixíssima adaptação ao meio (Piqueira e Benedito-Silva, 1997).

Daí surge a idéia de se considerar o ciclo vigília-sono como um sistema inicialmente desorganizado que migra para uma condição de maior organização com a idade. No recém-nascido, o oscilador circadiano está fracamente acoplado aos sincronizadores ambientais, fazendo com que as frequências presentes no ciclo vigília-sono sejam muitas e tenham uma baixa contribuição espectral - o organismo parece ainda não ter decidido quais são os marcadores temporais do ambiente aos quais ele se sincronizará. Conseqüentemente, o padrão do ciclo vigília-sono nesta etapa contém muita informação. Como esta condição é pouco adaptativa, uma vez que se sincronizar às pistas temporais é decisivo para a sobrevivência, o ciclo vigília-sono busca um estado de maior adaptação, tornando-se mais organizado, o que quer dizer, cada vez menos informação é acrescentada à medida que o tempo passa. Voltando ao exemplo do serviço meteorológico, parece que no início da vida o ciclo vigília-sono assemelha-se à mensagem "Vai haver um terremoto", ou seja, uma mensagem cheia de informação, enquanto que a mensagem "O sol vai nascer" é tão pobre de informação quanto o padrão temporal do ciclo vigília-sono de um sujeito adulto.

As frequências que caracterizam o padrão temporal serão consideradas no cálculo da medida de entropia H : o padrão temporal, numa certa idade, será considerado uma mensagem, composta por símbolos, que serão as frequências que

o caracterizam e que contêm uma certa quantidade de informação, dependendo da probabilidade da sua ocorrência num dado *conjunto* de séries temporais de ciclo vigília-sono. Este conjunto poderá ser composto por séries temporais de vários indivíduos na mesma idade, ou por séries temporais de um mesmo indivíduo em várias idades, ou até mesmo por séries temporais de vários indivíduos em várias idades, desde que a fonte de informação, representada aqui pelo sistema de temporização circadiano, seja ergódica. A partir da quantidade de informação contida em cada componente espectral, calcula-se a quantidade de informação total contida no padrão. Assim, é de se esperar que à medida que a idade aumente H diminua e, mantidas as outras condições relativas ao processo, teremos caracterizado um aumento do grau de organização do sistema de temporização circadiano, representado pelo ciclo vigília-sono.

No presente trabalho, dados de ciclo vigília-sono de bebês recém-nascidos serão utilizados, com o intuito de se mostrar a aplicação da medida de entropia para se medir o grau de organização do sistema de temporização ao longo do processo de estabelecimento do padrão circadiano do ciclo vigília-sono.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do experimento: Onze bebês, 6 meninas (ANA, JUL, LET, MAI, PAO, PAU) e 5 meninos (CAI, GUS, MAC, PED, ROD), nascidos a termo, saudáveis, foram selecionados dentre famílias conhecidas. Foi solicitado aos pais que anotassem em um caderno todos os horários de início e fim de sono, durante os 3 primeiros meses de vida, iniciando-se a coleta logo após a saída da maternidade. A Tabela 1 mostra a participação das crianças na pesquisa.

Tabela 1 - Participação das crianças na pesquisa em função da idade, em semanas; S - há registro de sono nesta semana; N- não há registro de sono nesta semana.

Idade	CRIANÇAS										
	ANA	CAI	GUS	JUL	LET	MAI	MAC	PAO	PAU	PED	ROD
1	N	N	N	N	N	N	S	N	N	N	S
2	S	S	S	S	N	S	S	N	S	N	S
3	S	S	S	N	S	S	S	N	S	N	S
4	S	S	S	S	S	S	S	N	S	N	S
5	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S
6	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	N
7	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S
8	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
9	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
10	S	N	S	N	S	S	S	S	N	S	S
11	S	S	S	S	S	S	S	S	N	S	N
12	S	N	S	N	S	S	S	S	N	S	S
13	S	S	N	S	S	S	N	N	N	S	S
14	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
15	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
16	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
17	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S

Organização dos dados: Os dados de início e fim de sono, agrupados em blocos de 1 semana (7 dias), foram utilizados no cálculo das durações dos episódios de sono e de vigília, para cada criança separadamente. Estas durações foram então divididas em intervalos de 10 minutos, com o intuito de se construir séries temporais com dados equidistantes. Desta forma, o ciclo vigília-sono de cada criança, em cada semana, é descrito por uma série temporal de 7 dias na qual cada ponto representa um dentre dois estados possíveis: ou a criança está dormindo ou a criança está acordada.

Análise dos dados: As séries temporais do ciclo vigília-sono das 11 crianças, separadas em blocos de uma semana, foram submetidas à transformada rápida de Fourier produzindo desta forma um periodograma para cada semana de vida de cada criança. Os periodogramas foram então reunidos em conjuntos, um por criança.

A entropia informacional média H , que corresponde à quantidade de informação média necessária para descrever um periodograma, expressa em

bits/componente espectral, foi calculada segundo o esquema que será mostrado mais à frente.

Para a verificação da evolução de H com a idade, retas foram ajustadas, pelo método dos mínimos quadrados (Zar, 1996), a todos os pares de pontos (H , idade), de cada uma das 11 crianças. Para tanto, foram estimados os valores de a e b da função:

$$H = a + b \times i$$

onde

- H : valor de H na i -ésima semana
- i : idade da criança expressa em número inteiro de semanas
- a : intersecção da reta ajustada no eixo das ordenadas
- b : coeficiente angular da reta ajustada

A significância estatística de cada uma das retas (H vs idade) foi testada com um nível de significância de 5% - neste caso a Hipótese nula (H_0) é que $b=0$, ou seja, H não depende da idade e a hipótese alternativa (H_a) é que $b \neq 0$, ou seja, H depende da idade.

Descrição dos métodos de análise: Neste item serão mostradas as etapas para o cálculo da entropia informacional média H , a partir de uma série temporal de dados.

Seja, então, uma série u_t ($t=1, \dots, N$), observada a intervalos eqüidistantes e representada pelo modelo

$$u_t = x_t + \varepsilon_t \quad t = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

sendo x_t o valor teórico do fenômeno em estudo e ε_t o erro aleatório devido às medidas ou outras fontes de erro. Assume-se que os erros têm distribuição normal, idênticas e independentes $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ sendo a variância desconhecida.

Os coeficientes da série de Fourier de x_t podem ser escritos

$$a_0 = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_t \quad (4)$$

$$a_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \cos\left(\frac{2\pi jt}{N}\right) \quad (5)$$

$$b_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \sin\left(\frac{2\pi jt}{N}\right) \quad (6)$$

para $j = 1, 2, \dots, n$ e N ímpar, isto é, $N = 2n+1$.

Pode-se escrever:

$$x_t = a_0 + \frac{2}{N} \sum_{j=1}^n \left[a_j \cos \frac{2\pi jt}{N} + b_j \sin \frac{2\pi jt}{N} \right] \quad (7)$$

A amplitude ao quadrado na frequência j/N é

$$R_j^2 = a_j^2 + b_j^2 \quad (8)$$

Para eliminar o efeito da variância, normaliza-se este estimador através da seguinte estatística

$$Y_j = \frac{R_j^2}{\sum_{i=1}^n R_i^2} \quad (9)$$

e as inferências são baseadas em $(Y_1 Y_2, \dots, Y_N)$.

Uma vez obtidos os padrões temporais de um dado conjunto com p séries temporais, a quantidade de informação H_i ($i=1,2,\dots,p$), contida em cada série temporal, é calculada da seguinte maneira:

componentes espectrais (número de ciclos na série temporal)							
séries temporais	1	2	3	4		m	entropia
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}		Y_{1m}	H_1
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}		Y_{2m}	H_2
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}		Y_{3m}	H_3
4	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}		Y_{4m}	H_4
....							
....							
p	Y_{p1}	Y_{p2}	Y_{p3}	Y_{p4}		Y_{pm}	H_p
Somas	S_1	S_2	S_3	S_4		S_m	S_{total}
P_j	P_1	P_2	P_3	P_4		P_m	
I_j	I_1	I_2	I_3	I_4		I_m	

onde

m: número total de componentes espectrais selecionados nas séries temporais do conjunto em estudo;

p: número de séries temporais que forma o conjunto;

Y_{ij} : contribuição espectral relativa do j-ésimo componente espectral da i-ésima série temporal;

S_j : soma dos Y_{ij} , $i=1,2,\dots,p$, para uma dada coluna j

$$S_j = \sum_{i=1}^p Y_{ij} \quad j=1,2,\dots,m;$$

S_{total} : soma dos S_j , $j=1,2,...,m$

$$S_{total} = \sum_{j=1}^m S_j$$

P_j : probabilidade de ocorrência do j -ésimo componente espectral

$$P_j = \frac{S_j}{S_{total}} \quad j=1,2,...,m;$$

I_j : quantidade de informação contida no j -ésimo componente espectral

$$I_j = -\log_2 P_j$$

H_i : quantidade total de informação na i -ésima série temporal

$$H_i = \sum_{j=1}^m I_j Y_{ij} \quad i=1,2,...,p;$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de H , calculados por criança, são mostrados na Tabela 2, em bits/componente espectral, em função da idade, expressa em semanas. Essa tabela evidencia a variabilidade interindividual no desenvolvimento do padrão temporal do ciclo vigília-sono no início da vida: crianças com a mesma idade não apresentam necessariamente a mesma quantidade de informação nas séries temporais de vigília-sono. Pode-se observar também que até a 9ª semana de vida

de algumas crianças, como CAI, PAO, PAU e GUS, o valor de H ainda não decresceu ou decresceu pouco.

Tabela 2 - Valores de H , em bits/componente espectral; cada linha representa uma semana de vida, e cada coluna, uma criança. As células vazias correspondem às semanas cuja coleta não foi realizada.

idade	CRIANÇAS										
	ANA	CAI	GUS	JUL	LET	MAC	MAI	PAO	PAU	PED	ROD
1						7.1					7.2
2	7.1	6.8	7.2	7.2		7.1	7.1		6.6		6.8
3	7.2	6.7	7.2		7	6.7	7.0		6.6		7.1
4	7.1	6.7	7.2	6.6	6.9	6.9	6.3		6.6		7.0
5	6.2	6.8	6.9	6.5	6.9	6.8	6.4	7.0	6.5		7.0
6	5.9	6.7	6.9	6.3	6.8	6.6	6.0	7.1	6.7	7.0	
7	5.5	6.6		6.2	6.7	6.3	6.2	7.0	6.7	6.4	7.0
8		6.9	6.9	6.4	6.7	7.1	6.0	7.0	6.5	6.0	6.7
9	5.9	6.9	6.9	6.0	5.8	5.8	5.7	6.6	6.9	5.6	6.1
10	5.8		6.9		5.1	5.8	5.1	6.6		5.7	6.1
11	5.8	6.6	6.7	6.2	5.2	6.4	4.4	6.5		6.0	
12	5.6		6.5		5.1	6.1	4.4	6.6		5.6	5.9
13	5.7	6.3		6.0	4.9		4.4			5.4	5.9
14											5.8
15											6.3
16											6.1
17											6.2

A Tabela 3 mostra, para cada reta ajustada aos pares de pontos (H , idade) do conjunto TUDO, os parâmetros estimados das retas, a e b , e a significância estatística do ajuste destas retas; o resultado do teste de comparação destas retas também é apresentado.

Pode-se observar, na Tabela 3, que $p\text{-value} < 0.05$ em todas as retas, indicando que as retas não são paralelas ao eixo das abscissas. Quanto ao coeficiente angular b , ele é negativo em todas as retas exceto na criança PAU, que é também a única criança que teve apenas os 2 primeiros meses de dados registrados. O coeficiente angular positivo da reta ajustada aos pares (H , idade) de PAU, expressando um H que cresce com a idade, poderia então ser explicado pelo

fato de os dados daquela criança terem sido coletados apenas até a 9^a semana de vida.

Quanto à comparação dos coeficientes angulares b das retas, o resultado mostra que a probabilidade de as retas terem coeficientes angulares iguais é menor que 0.01% (p-value < 0.0001), ou seja, há diferença entre as crianças, quanto à taxa de decréscimo de H com a idade.

Se supusermos que a esta taxa de decréscimo de H com a idade corresponde à rapidez com que o ciclo vigília/sono adquire um padrão circadiano de 24 horas, o resultado da comparação das retas sugere diferenças individuais importantes quanto ao tempo que cada criança leva para atingir este padrão circadiano.

Tabela 3 - Resultado da regressão linear para os pares (H , idade). Cada linha corresponde a uma criança; a = intersecção da reta ajustada; b = coeficiente angular da reta ajustada; F = relação entre variâncias, g.l. = graus de liberdade e p-value = nível descritivo.

	a	b	F	g.l.	p-value
ANA	7.27	-0.14	19.73	1, 9	0.0016
CAI	6.85	-0.02	2.087	1, 8	0.1866
GUS	7.37	-0.06	57.135	1, 8	<0.0001
JUL	7.07	-0.09	18.097	1, 7	0.0038
LET	8.06	-0.24	63.523	1, 9	<0.0001
MAC	7.25	-0.26	13.077	1, 10	0.0047
MAI	7.71	-0.10	123.209	1, 10	<0.0001
PAO	7.51	-0.08	16.911	1, 6	0.0063
PAU	6.53	0.02	2.036	1, 6	0.2035
PED	7.64	-0.17	12.256	1, 6	0.0128
ROD	7.21	-0.08	33.040	1, 13	<0.0001

Comparação das retas: $F(10, 92) = 11.0604$, p-value < 0.0001

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCHOFF, J. Circadian rhythms in man. *Science*, v.148, p.1427-32, 1965.
- ASH, R. **Information Theory**. New York, John Wiley, 1965.
- BENEDITO-SILVA, A.A. **Ontogênese do ciclo vigília-sono em bebês: estudo através de transformadas ortogonais**. São Paulo, 1993a. 115p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BENEDITO-SILVA, A.A.; PIQUEIRA, J.R.C.; MENNA-BARRETO, L. Detecção de periodicidades compostas em séries temporais de ritmos biológicos. In: Congresso Brasileiro de Automática, 9., São Paulo, 1996. *Anais*. São Paulo, 1996. v.1, p.263-7.
- BENOIT, O. Le rythme veille-sommeil chez l'enfant. *Archives Françaises du Pédiatrie*, v.38, p.619-26, 1981.
- BLIWISE, D.L. Sleep in normal aging and dementia. *Sleep*, v.16, p.40-81, 1993.
- CARLSON, A.B. **Sistemas de comunicações: uma introdução aos sinais e ruído em comunicação elétrica**. Trad. por José Fabiano Rocha, São Paulo, EDUSP, 1981. Cap.9, p.329-61: Teoria da informação e sistemas de comunicações.
- CARSKADON, M.A.; VIEIRA, C.; ACEBO, C. Association between puberty and delayed phase preference. *Sleep*, v.16, p.258-62, 1993.
- DAVIS, F.C. Ontogeny of circadian rhythms. In: ASCHOFF, J., ed. **Handbook of behavioral neurobiology**. New York, Plenum Press, p.257-74, 1981.
- DAVIS, F.C.; MANION, J. Entrainment of hamster pup circadian rhythms by prenatal melatonin injections. *American Journal on Physiology*, v.255r, p.439-48, 1988.
- DOWSE, H.B.; RINGO, J.M. The search for hidden periodicities in biological time series revisited. *Journal of Theoretical Biology*, v.139, p.487-515, 1989.
- GHETT, V.J. Hierarchical cluster analysis. In: COLGAN, P.W., ed. **Quantitative ethology**. New York, Wiley, 1978. p.115-44.
- GUIASU, S.; THEODORESCU, R. **La theorie mathématique de l'information**. Paris, Dunod, 1968.
- HELLBRUGGE, T. Development of circadian rhythms in infants. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, v.25, p.311-23, 1960.
- HELLBRUGGE, T.; LANGE, J.E.; RUTENFRANZ, J.; STEHR, K. Circadian periodicity of physiological functions in different stages of infancy and childhood. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.117, p.361-73, 1964.
- KLEITMAN, N.; ENGELMANN, T.G. Sleep characteristics of infants. *Journal of Applied Physiology*, v. 6, p.269-82, 1953.

- LOUZADA, F.M. **Ontogênese do ciclo vigília-sono humano: um estudo longitudinal dos primeiros 6 anos de vida.** São Paulo, 1995. 84p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.
- MANN, N.P.; HADDOW, R.; STOKES, L. Effect of night and day on preterm infants in a newborn nursery: randomised trial. **British Medical Journal**, v.275, p.1265-7, 1986.
- MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. Desenvolvimento dos ritmos biológicos. In: GARCIA, S.M.L.; JECKEL, C.; GARCIA, C., eds. **Embriologia.** Porto Alegre, Artes Médicas, 1991. p.272-7.
- MEIER-KOLL, A.; HALL, U.; HELLWIG, U.; KOTT, G.; MEIER-KOLL, V. A biological oscillator system and the development of sleep-waking behavior during early infancy. **Chronobiologia**, v.5, p.425-40, 1978.
- MENNA-BARRETO, L., BENEDITO-SILVA, A.A., MARQUES, N., ANDRADE, M.M.M.; LOUZADA, F. Ultradian components of the sleep-wake cycle in babies. **Chronobiology International**, v.10, p.103-8, 1993.
- MENNA-BARRETO, L. Chronobiology and individual differences. In: Meeting of the International Society for Comparative Psychology, 7., São Paulo, 1994. **Proceedings.** São Paulo, 1994. p.40.
- MENNA-BARRETO, L.; ISOLA, A.; LOUZADA, F.; BENEDITO-SILVA, A.A.; MELLO, L. Becoming circadian - a one-year study of the development of the sleep-wake cycle in children. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v.29, p.125-9, 1996.
- MILLER, G.A. What is information measurement? **American Psychologist**, v.8, p.3-11, 1953.
- MINORS, D.S. E WATERHOUSE, J.M. (1981): *Circadian rhythms and the human.* Wright PSG, Bristol.
- PALUDETTI, L.A., AFECHÉ, S.C. e BENEDITO-SILVA, A.A. (1988): Conceitos fundamentais. In: *Introdução ao estudo da cronobiologia*, J. CIPOLLA-NETO, N. MARQUES, L. MENNA-BARRETO (eds.). Icone, São Paulo, p.25-63.
- PARKES, M.J. Fetal behavioral states: sleep and wakefulness? **Quarterly Journal of Experimental Psychology**, v.44B, p.231-44, 1992.
- PARMELEE, A.H. Sleep parameters in infancy: a study of one infant from birth to 8 months of age. **Acta Paediatrica**, v.50, p.160-70, 1961.
- PARMELEE, A.H., jr. Ontogeny of sleep patterns and associated periodicities in infants: pre- and postnatal development of the human brain. **Modern Problems in Paediatrics**, v.13, p.298-311, 1974.
- PIQUEIRA, J.R.C.; BENEDITO-SILVA, A.A. **Auto-organização e complexidade: o desenvolvimento do ciclo vigília-sono.** São Paulo, IEA/USP. (Coleção Documentos). /No prelo/
- REPPERT, S.M.; SCHWARTZ, W.J. Maternal coordination of the fetal biological clock in utero. **Science**, v.220, p.969-71, 1983.

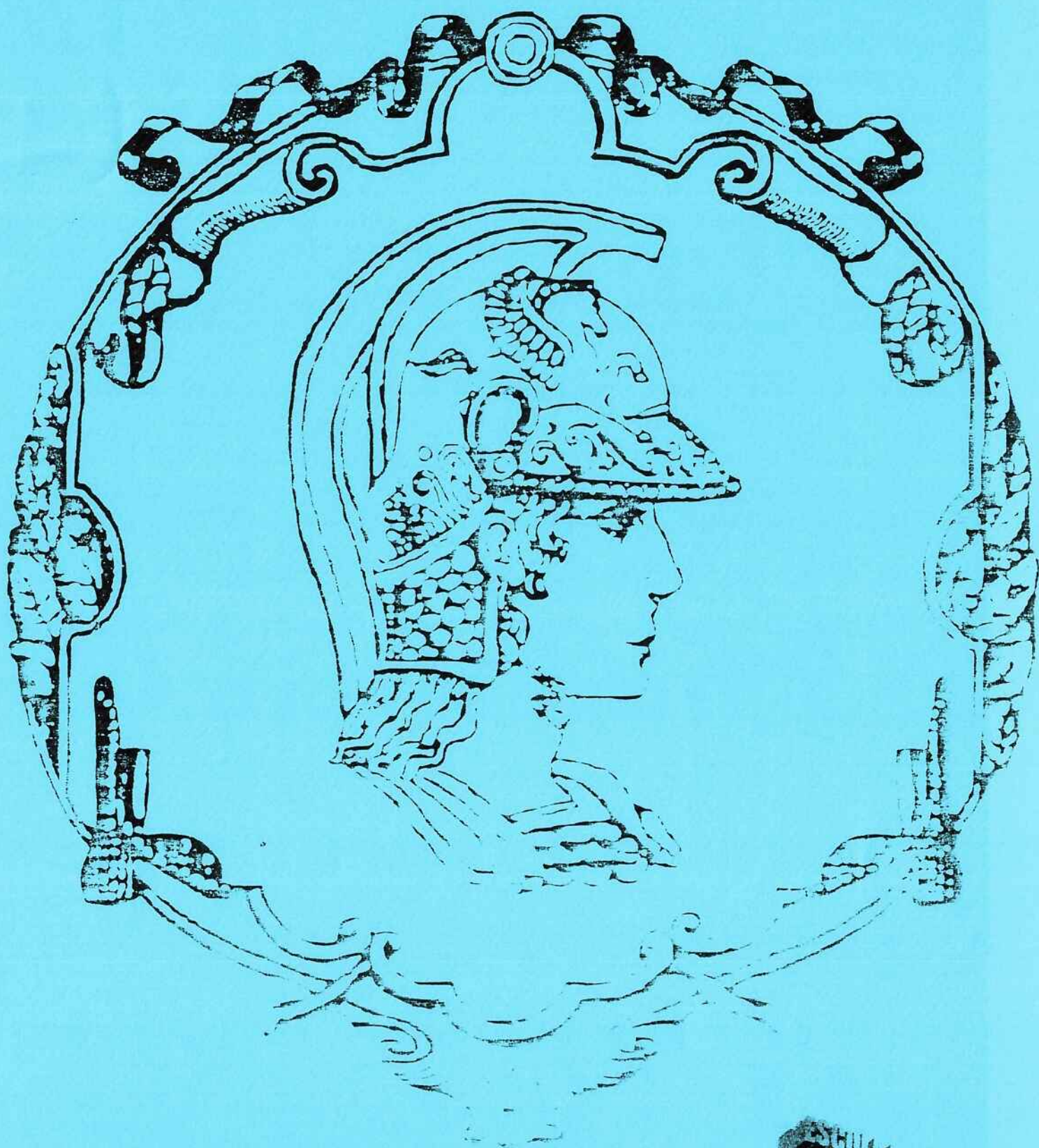
- RIETVELD, W.J. The central control and ontogeny of circadian rhythmicity. **European Journal of Morphology**, v.28, p.301-7, 1990.
- RIVKEES, S.A.; REPPERT, S.M. Perinatal development of day-light rhythms in humans. **Hormone Research**, v.37, p.99-104, 1992.
- SANDER, L.W.; STECHLER, G.; BURNS, P. Early mother infant interaction and 24-hour patterns of activity and sleep. **Journal of the American Academy of Child Psychiatry**, v.9, p.103-23, 1970.
- SATO, T. **Análise de seqüências comportamentais**. São Paulo, IPUSP, 1995. / Notas de aula da disciplina de pós-graduação **Análise de seqüências comportamentais**, oferecida pelo Departamento de Psicologia Experimental do Instituto de Psicologia da USP /
- SHANNON, C.E. The mathematical theory of communication. In: SHANNON, C.E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Illinois, University of Illinois Press, 1949. p.29-115.
- SHUMWAY, R.H. **Applied statistical time series analysis**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1988.
- SIEGEL, A..F. Testing for periodicity in a time series. **Journal of the American Statistical Association**, v.75, p.:345-8, 1980.
- SMOLENSKY, M.; HALBERG, F.; SARGENT, F. Chronobiology of the life sequence. In: ITO, S.; OGATA, K.; YOSHIMURA, H., eds. **Advances in climatic physiology**. Tokio, Igaku Shoin, 1972, p.281-318.
- SNEATH, P.H.A.; SOKAL, R.R. **Numerical Taxonomy: the Principles and Practice of Numerical Classification**. San Francisco, Freeman, 1973.
- TOMIOKA, K.; TOMIOKA, F. Development of circadian sleep-wakefulness rhythmicity of three infants. **Journal of Interdisciplinary Cycle Research**. v.22, n.1, p.71-80, 1991.
- WATERHOUSE, J.M.; MINORS, D.S. Circadian rhythms in the neonate and in old age: what do they tell us about the development and decay of the body clocks in mammals? **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v.29, p.87-94, 1996.
- WEAVER, W. Recent contributions to the mathematical theory of communication. In: SHANNON, C.E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Illinois, University of Illinois Press, 1949. p.1-28.
- WULFFTEN PALTHE, T. Van; HOPKINS, B.; VOS, J.E. Quantitative description of early mother-infant interaction using information theoretical statistics. **Behaviour**, v.112, p.117-48, 1990.
- ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 3.ed. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1996.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEE/9301 - Oscilador a HEMT - 10 GHz - FÁTIMA S. CORRERA, EDMAR CAMARGO
- BT/PEE/9302 - Representação Senoidal da Voz através dos Polos do Filtro Preditor - MARCELO B. JOAQUIM, NORMONDS ALENS
- BT/PEE/9303 - Blindagens por Grades Conductoras: Cálculo do Campo Próximo - LUIZ CEZAR TRINTINHALIA, 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" 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" Paralelo - EDUARDO TOLEDO SANTOS, JOÃO ANTONIO ZUFFO
- BT/PEE/9411 - Implementação de uma Ferramenta Posicionador para "Gate-Arrays" 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 "IIR" (da especificação em alto nível ao leiaute do "ASIC") - 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 SORIA, 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* 1996 - Redes Neurais Artificiais: A Rede Neural de Sakoe - ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PEE/9607 - Coleção *SANN* 1996 - 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 SiO₂ 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 CCl₄-N₂ 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 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/H_∞ 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 Fraseadora Automática - MÁRCIO A. F. MURATORE, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PEE/9809 - Redes Neurais com Retardos Temporais Aplicados 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, 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



ESCOLA POLITÉCNICA
POLITECNICA

Tel: 818-5514

