

## Processo de síntese sonora como suporte à composição de *Rito soturno*

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO, SONOLOGIA

*Adriano Claro Monteiro*  
NICS/IA-UNICAMP - *monteiro.adc@gmail.com*

*Jônatas Manzolli*  
NICS/IA-UNICAMP - *jonatas@nics.unicamp.com*

**Resumo:** Esse artigo apresenta um novo modelo de síntese de texturas sonoras que foi desenvolvido para a composição da peça eletroacústica *Rito soturno*. O método proposto é baseado em sistemas dinâmicos não-lineares e pode ser classificado como uma nova abordagem no campo da síntese Iterativa. No artigo primeiramente descrevemos o sistema de síntese, em seguida discutimos seu uso durante a criação da peça, por fim apresentamos e discutimos os resultados sonoros de uma exploração empírica realizada durante a composição de *Rito soturno*.

**Palavras-chave:** Composição Eletroacústica. Síntese Sonora. Modelos Caóticos

### Sound Synthesis Process as Underpinnings for the Composition of *Rito Soturno*

**Abstract:** This article presents a new method for synthesis of sound textures that was developed to the composition of *Rito soturno*, an electroacoustic music piece. The proposed method is based on non-linear dynamical systems and can be classified as a new approach in the field of Iterative Synthesis. In the article we first describe the system, then we discuss its application to musical composition, and finally we show results achieved through empirical experimentation.

**Keywords:** Electroacoustic Composition. Sound Synthesis. Chaotic Models.

### 1. Introdução

Neste artigo apresentamos técnicas originais de composição eletroacústica utilizadas na peça *Rito soturno*. Esta peça foi concebida para a edição comemorativa de 1 ano do NME<sup>1</sup> e compõe uma das faixas do CD contido no *box* NME aniversário, lançado para esse evento, que também contou com concertos no Centro Cultural Oswald de Andrade (São Paulo, 2012) e no auditório da Biblioteca Central da UNICAMP (Campinas, 2012).

A característica de *Rito soturno* que destacamos nesse trabalho é ele ser um estudo musical sobre a aplicação à síntese sonora de sistemas dinâmicos não-lineares com comportamento caótico. Define-se como caótico o sistema que, a partir de regras de iterações locais, desenvolve comportamento emergente ou não previsível em longo prazo e que podem ser simulados através de modelos computacionais (FORREST, 1990). Depois de certo número de iterações, as implicações das interações locais dos elementos do sistema convergem para comportamentos globais que variam de aleatórios, ciclos oscilatórios ou mesmo para um ponto de convergência.

A utilização de sistemas dinâmicos não-lineares e caóticos em música tem sido proposta desde o final da década de 1980. No campo da composição instrumental assistida por computador, existem trabalhos sobre o mapeamento da saída de sistemas caóticos para parâmetros de escrita musical, como altura, duração e dinâmica, com intuito de gerar material musical (BIDLACK, 1992; CHAPEL, 2003; DIAZ-JEREZ, 2000; DODGE, 1988; GOGINS, 1991; PRESSING, 1988; PETERS, 2010); ou também em procedimentos para variação desse tipo material previamente composto (DABBY, 1995). Na música eletroacústica, abordagens similares foram realizadas mapeando-se as órbitas numéricas resultantes de equações caóticas para parâmetros de controle de síntese digital de áudio, como por exemplo, para controlar os parâmetros de Síntese Granular (DI SCIPIO, 1990; TRUAX, 1990), ou para outras diversas técnicas de síntese, filtragem e espacialização sonora (PUIG, 2005).

Em outro tipo de aplicação para música eletroacústica as órbitas numéricas geradas por esses sistemas foram diretamente mapeadas como amostras de áudio digital (DI SCIPIO, PRIGNANO, 1996; MANZOLLI, 1993; MONRO, 1995). Obteve-se com isso um procedimento de síntese sonora que ficou conhecido na literatura da área como Síntese Iterativa Funcional ou apenas Síntese Iterativa (DI SCIPIO, PRIGNANO, 1996). Outros trabalhos sobre síntese iterativa incluem um processo de realimentação cruzada em módulos de síntese por modulação de frequências (FM) e síntese por modulação de amplitude (AM) (VALSAMAKIS, MIRANDA, 2005); e um caso em que o sistema caótico foi utilizado como princípio para construção de um sintetizador analógico (SLATER, 1998).

Para desenvolver o processo criativo de *Rito soturno*, exploramos uma nova abordagem derivada do sistema proposto por Valsamakis e Miranda (2005).

A continuação desse artigo é estruturada da seguinte forma: primeiramente elucidamos nossa abordagem sobre a utilização de sistemas dinâmicos não-lineares caóticos para composição musical. Em seguida detalhamos o modelo utilizado com foco para os processos de composição de material sonoro-musical, e por fim discutimos os resultados e projeções futuras.

## **2. Formalismo e Subjetividade**

Sob determinadas condições iniciais e valores paramétricos específicos, sistemas dinâmicos não-lineares caóticos apresentam comportamentos determinísticos, porém são imprevisíveis em longo prazo por consequência do seu alto grau de complexidade. Portanto, é impossível prever, *a priori*, uma relação direta entre os controles paramétricos e seus consequentes resultados sonoros para um método de síntese que se utiliza desse tipo de

comportamento numérico. Por esse motivo, o uso da síntese para a composição de *Rito soturno* foi fundamentado numa exploração empírica, fortemente balizada pela percepção sonora e treino musical do compositor.

Distinguimos dois níveis no processo criativo realizado para composição de *Rito soturno*: I) a composição sonora, fundamentada na exploração dos processos algorítmicos caóticos para geração de material sonoro. II) a composição musical, na qual os sons gerados pela síntese foram avaliados perceptivamente pelo compositor e utilizados como elementos de construção da peça.

As duas etapas do processo foram realizadas simultaneamente. As configurações paramétricas do sistema foram testadas de forma exploratória e livre. Os resultados sonoros julgados musicalmente interessantes tiveram as respectivas combinações paramétricas salvas, para que depois pudessem ser retomados. Durante o processo de criação, decisões composicionais levaram a busca de novas sonoridades através de alterações dos valores paramétricos. Muitas vezes, tais alterações se manifestaram em bruscas mudanças do som gerado, em outras vezes, levaram a sutis interpolações sonoras. Dessa forma, o processo composicional foi um jogo com o sistema que levou a exploração, descobertas, escolhas e registro composicional. Um jogo entre formalismo matemático e exploração subjetiva e perceptual.

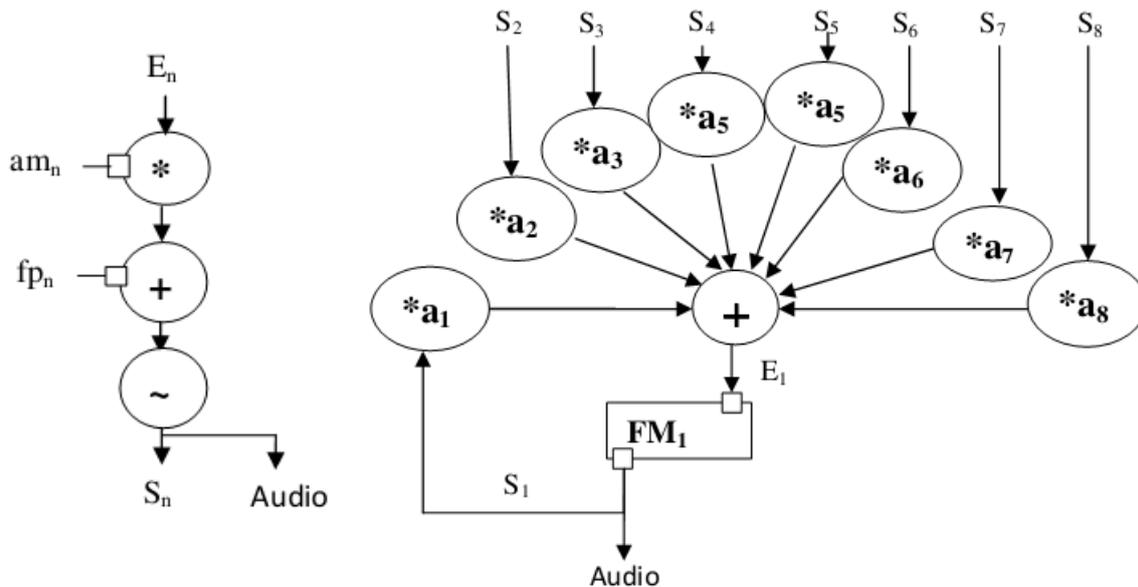
Nesse artigo detalharemos especificamente o sistema de composição sonora utilizado em *Rito soturno*, pois seu entendimento é necessário para abordarmos o processo de composição musical da peça em comunicações futuras.

### **3. Descrição do Sistema de Composição Sonora**

Em *Rito Soturno* utilizamos redes de realimentação formadas por 8 módulos de síntese FM, ao invés de pares de módulos de síntese FM ou AM, como os adotados por Valsamakis e Miranda (2005). Do ponto de vista de modelagem matemática, no nosso sistema, a onda moduladora de cada módulo FM é a obtida através da combinação linear da saída de todos os módulos. Ou seja, o processo de síntese foi projetado como uma rede na qual cada nó, i.e. os módulos FM, comunicam-se com outro nó a partir da soma ponderada de todos sinais resultantes dos nós da rede. Vide a Figura 1 na qual a estrutura interna de cada módulo FM é descrita.

Os símbolos ‘+’ e ‘\*’ circuncêntricos indicam, respectivamente, soma e multiplicação entre sinais, ou entre sinal e valor escalar. O símbolo ‘~’ circuncêntrico indica um gerador de ondas senoidais. Os valores de entrada do parâmetro  $fp_n$  (frequência portadora)

para cada módulo  $n$  (para  $n \in \mathbb{N}$ ;  $n = [1 \dots 8]$ ), determinam a frequência das ondas portadoras (em Hertz). Os valores de entrada do parâmetro  $am_n$  (amplitude de modulação) são fatores multiplicativos que determinam a amplitude de modulação das ondas moduladoras.  $E_n$  são as ondas moduladoras geradas pela combinação linear das saídas de áudio  $S_n$  dos 8 módulos do sistema. Logo, cada saída de áudio é multiplicada por um valor escalar  $a_n$  com âmbito paramétrico restrito entre 0 e 1 (Figura 1, à direita).



**Figura 1:** À esquerda está o fluxograma que descreve cada módulo de síntese FM no sistema de rede. À direita está o fluxograma que exemplifica o endereçamento de sinal de entrada para um dos módulos de síntese.

A rede é formada pelo endereçamento das saídas de áudio para as entradas dos módulos. Essa configuração pode ser representada por uma matriz quadrada  $8 \times 8$ , como pode ser visto na Tabela 2. Cada elemento da matriz representa o endereçamento da saída de um módulo  $X$  ( $S_x$ ), para a entrada em outro módulo  $Y$  ( $E_y$ ). Os valores de entrada da matriz são os multiplicadores dos respectivos sinais. Os sinais de saída dos módulos são também as saídas de áudio do sistema, ou seja, uma rede com 8 módulos de síntese FM possui 8 saídas de áudio independentes que podem ser utilizadas separadamente ou combinadas.

#### 4. Geração de Material Musical

A partir do projeto da rede iniciamos o processo de experimentação com o sistema que gerou a uma gama de resultados sonoros interessantes associados a configurações de redes específicas. Dentre elas utilizamos quatro (A, B, C, D) como exemplos nesse trabalho, e que estão descritas na Figura 3. Considerando que a estrutura de rede pode ser representada por uma matriz, os materiais musicais apresentados a seguir foram configurados com

diferentes valores numéricos dos elementos da matriz que representam as conexões da rede. Os parâmetros das sínteses FM, internos aos módulos ( $fp_n$  e  $am_n$ ) foram mantidos constantes e são apresentados na Tabela 1.

parâmetros	Módulos							
	FM <sub>1</sub>	FM <sub>2</sub>	FM <sub>3</sub>	FM <sub>4</sub>	FM <sub>5</sub>	FM <sub>6</sub>	FM <sub>7</sub>	FM <sub>8</sub>
$fp$	39	0	21	5*	57	25,84	16,01	0.44
$am$	41808	741	10617	10,5	13680	171	4715	526

**Tabela 1:** Relação de parâmetros por módulos de síntese que geram os materiais sonoros (A, B, C e D, vide abaixo) de exemplificação e que também foram empregados na composição de Rito Soturno. \* a única exceção é o parâmetro  $fp_4 = 0.3$  para configuração A.

Na Tabela 2 apresentamos as matrizes dos materiais A, B, C e D, respectivamente. A Figura 3 ilustra as mesmas configurações com representações gráficas. Nela os módulos de síntese com suas respectivas numerações são representados por círculos e os endereçamentos dos sinais entre os módulos são representados por setas.

Mantivemos uma abordagem simples para configurar as quatro redes: determinamos que cada módulo recebesse o sinal de apenas um dos módulos da rede, sem amplificação ou atenuação. Por isso as matrizes da Tabela 2 contêm apenas 0, que indica o não-envio do sinal entre módulos, ou 1, indicando envio do sinal. Logo, existe apenas um valor 1 por linha da matriz, e na Figura 3 cada módulo recebe apenas uma seta.

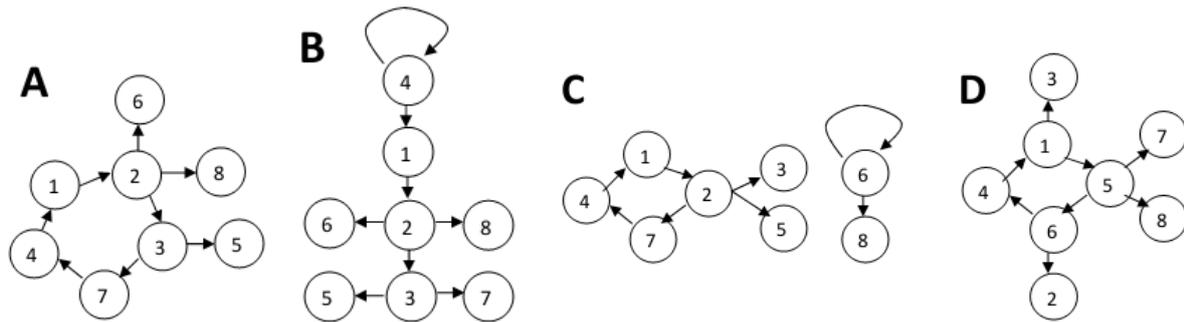
A		SAÍDAS							
E		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
N	E <sub>1</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0
T	E <sub>2</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0
R	E <sub>3</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0
A	E <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	1	0
D	E <sub>5</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0
A	E <sub>6</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0
S	E <sub>7</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0
	E <sub>8</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0

B		SAÍDAS							
E		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
N	E <sub>1</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0
T	E <sub>2</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0
R	E <sub>3</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0
A	E <sub>4</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0
D	E <sub>5</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0
A	E <sub>6</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0
S	E <sub>7</sub>	0	0	1	0	0	0	0	0
	E <sub>8</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0

C		SAÍDAS							
E		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
N	E <sub>1</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0
T	E <sub>2</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0
R	E <sub>3</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0
A	E <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	0	1	0
D	E <sub>5</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0
A	E <sub>6</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0
S	E <sub>7</sub>	0	1	0	0	0	0	0	0
	E <sub>8</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0

D		SAÍDAS							
E		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>
N	E <sub>1</sub>	0	0	0	1	0	0	0	0
T	E <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0
R	E <sub>3</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0
A	E <sub>4</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0
D	E <sub>5</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0
A	E <sub>6</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0
S	E <sub>7</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0
	E <sub>8</sub>	0	0	0	0	1	0	0	0

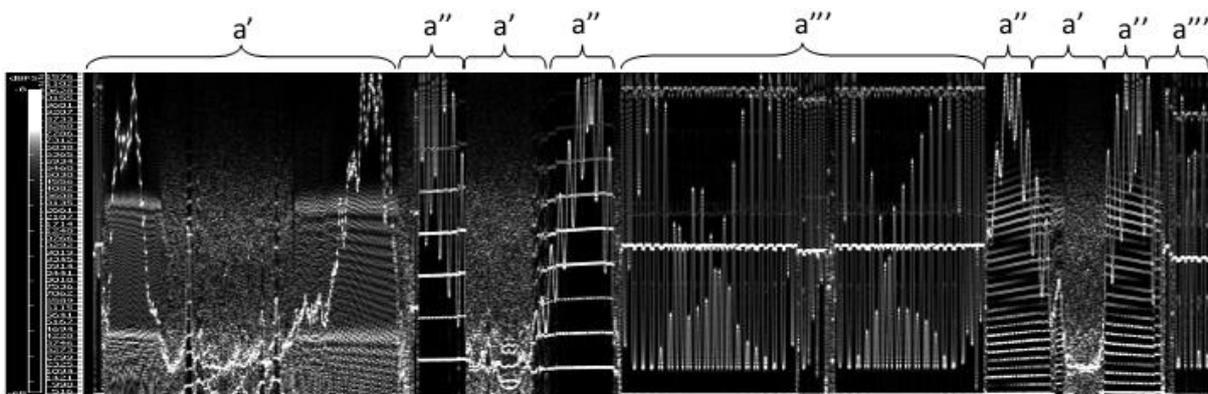
**Tabela 2:** Matrizes de endereçamento do sinal de saída dos módulos para os materiais A, B, C e D.



**Figura 3:** Representação gráfica das redes de síntese FM para escolhidas para os materiais A, B, C, D.

O sistema assim configurado produz inúmeras variantes sonoras que exploramos na composição musical. A título de elucidar essa dinâmica rica de padrões espectrais, apresentamos a seguir os espectrogramas que representam as saídas do sistema para as quatro matrizes. O áudio gravado para cada uma delas foi gerado através da soma das saídas de todos os módulos, mas ressaltamos que as saídas dos módulos podem ser analisadas separadamente.

A Figura 4 contém o espectrograma de um trecho de 8 segundos gerado pela configuração A. Nota-se que existe uma alternância de três tipos de texturas sonoras. Auditivamente, percebe-se que essa alternância tem um caráter aleatório, ritmado, as transições são rápidas e com mudanças bruscas. A textura *a'* apresenta um espectro saturado e picos de energia que formam uma linha contínua com características de movimento estocástico; *a''* apresenta sons glissandos contínuos e graduais formados por quantidade variável de parciais. Nas duas primeiras vezes o espectro desses sons aparece menos saturado e nas duas últimas, mais saturado. Por fim, *a'''* é composta por um pedal grave contínuo com muita energia, sons iterados em registro agudo também com muita energia, e sons iterados em registro médio com menos energia que os anteriores.

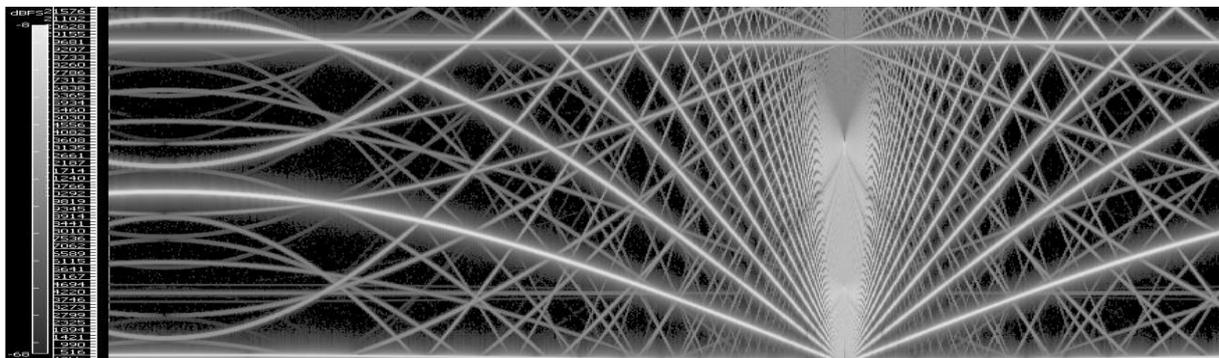


**Figura 4:** Espectrograma da saída de áudio gerado pela configuração A da rede de módulos de síntese.

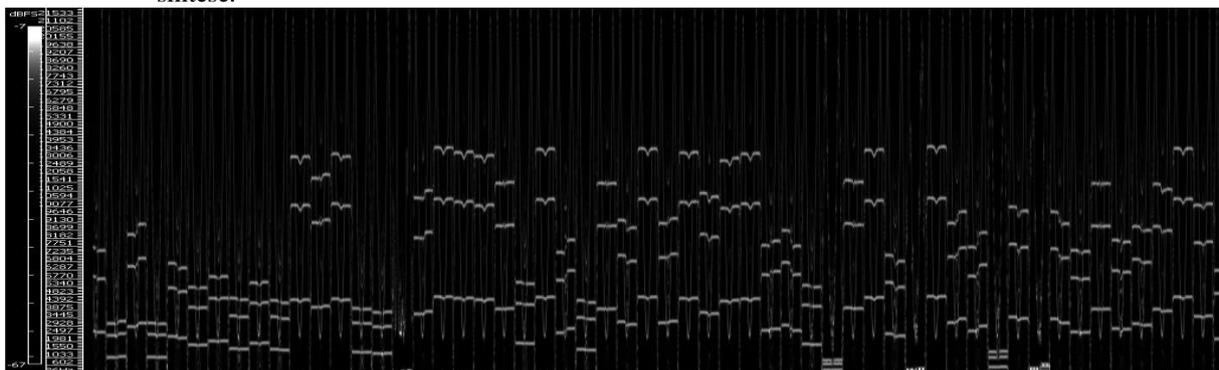
O áudio resultante da configuração B é ilustrado pelo espectrograma da Figura 5 com 3 minutos e 28 segundos. Nota-se uma textura formada por longos glissandos contínuos

ascendentes e descendentes e com curvatura logarítmica. Existe também energia em frequências estáticas e contínuas. Na segunda metade do trecho há um ponto de convergência de muitas dessas linhas de glissando. A resultante sonora é caracterizada por uma rica sobreposição de tons em movimentos lentos e direcionais varrendo todo o espectro auditivo.

A Figura 6 contém o espectrograma da configuração C com duração de 5,5 segundos. A textura sonora gerada é composta por dois elementos que aparecem sobrepostos e ritmados sob um pulso constante e veloz. Um dos elementos é formado por sons de curta duração e alta saturação espectral. Esses podem ser identificados no espectrograma como os traços verticais. O segundo elemento são tons de curta duração, com maior energia e que se sobrepõe espaçadamente no eixo das frequências (eixo vertical) formando tons com sonoridade inarmônicas, rapidamente alternantes, aparentemente de forma aleatória e por um grande âmbito do espectro de frequências.



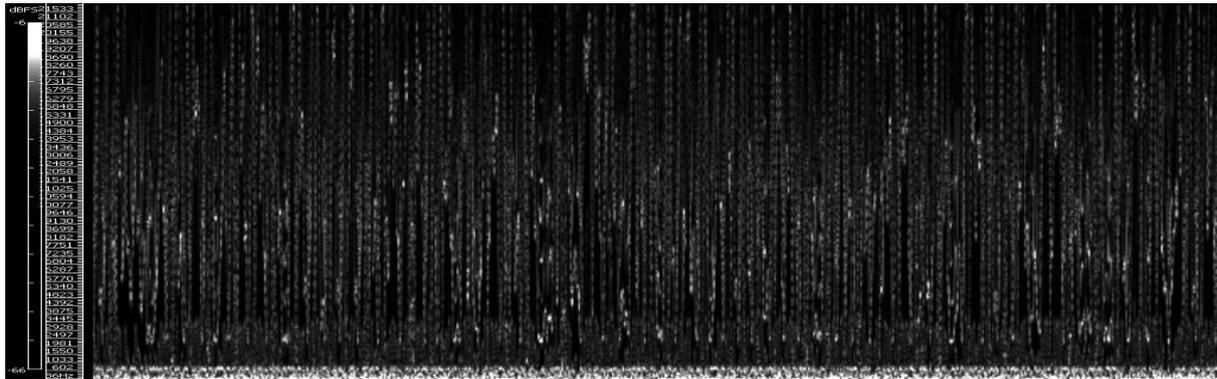
**Figura 5:** Espectrograma da saída de áudio gerado pela configuração B da rede de módulos de síntese.



**Figura 6:** Espectrograma da saída de áudio gerado pela configuração C da rede de módulos de síntese.

O espectrograma do áudio gerado pela configuração D está na Figura 7, com duração de 20 segundos. Existe uma textura homogênea bastante ruidosa que remete a ruídos naturais, como de água corrente e vento. Nota-se a presença de um ruído denso, com alta energia no registro grave que se mantém durante toda a duração do trecho. Em toda a parte superior do espectro há uma distribuição de eventos de curta duração e grande largura de

banda espectral, com pontos de máxima de energia espaçados em ambos os domínios temporal e espectral.



**Figura 7:** Espectrograma da saída de áudio gerado pela configuração D da rede de módulos de síntese.

#### 4. Discussão dos Resultados

Em termos de síntese sonora digital o sistema herda a eficiência da síntese FM, pois com apenas oito osciladores obtivemos uma grande diversidade de materiais sonoros musicalmente interessantes.

Destacamos a propriedade do sistema de gerar estruturas sonoras em diversos níveis perceptivos. Por exemplo, nas configurações A, B e C obtivemos tanto complexidade sonora espectral quanto a geração de padrões musicais de média duração (de pouco menos de 1 segundo até dezenas de segundos, aproximadamente) como, variação de alturas, percepção de pulso constante, alternância de alturas discretas. O resultado da configuração D se manteve como o descrito por Valsamakis e Miranda (2005): texturas sonoras complexas que mimetizam a dinâmica de ruídos naturais. Homogêneos em função do tempo, eles não induzem a percepção de estruturas musicais de média ou longa duração. Nosso sistema expande então as possibilidades do sistema proposto por esses autores. Essa riqueza de estruturas temporais proporcionada pela rede de modulação é provavelmente devida aos padrões emergentes de modulações de baixas frequências, que também são utilizados como sinal de controle (ondas moduladoras). Por outro lado padrões de modulação de frequências altas devem provavelmente afetar a dinâmica espectral (timbre) dos eventos sonoros gerados.

Outra particularidade do sistema é a possibilidade de alterações paramétricas contínuas que, apesar de seu comportamento caótico, induzem a transformações internas nas texturas sonoras geradas, graduais ou não, dependendo do conjunto de parâmetros escolhido. Esse recurso proporciona ao compositor um espaço criativo para estabelecer dinâmicas de alterações de texturas sonoras. Isso foi explorado em *Rito soturno*, porém sua discussão será realizada em publicações futuras focadas na etapa de composição musical dessa peça.

O método de síntese em redes é passível de ser expandindo. Nossa hipótese é que redes maiores e novas configurações paramétricas criarão uma nova gama de sonoridades interessantes. Acreditamos que pouco da potencialidade desse método foi evidenciada por nosso trabalho até agora. Futuramente iremos sistematizar um estudo do sistema de redes de síntese FM a fim de encontrarmos possíveis propriedades e regularidades, bem como relações entre as combinações paramétricas e os tipos de texturas sonoras obtidas. Para isso, é provável que precisemos também expandir o ferramental de análise sonora. São desejáveis modelos quantitativos de análise sonora relacionados aos parâmetros da percepção sonora humana, pois com eles poderemos avaliar a relação entre os conjuntos paramétricos da síntese e os respectivos sons gerados.

O estudo aqui reportado também levou à extrapolação do método desenvolvido para o campo da análise sonora. Nossa hipótese é que podemos gerar uma representação analítica de texturas sonoras naturais através da análise da convergência da matriz de uma rede de módulos demoduladores de frequência. Diferente da síntese aditiva fundamentada no método de Fourier, que tradicionalmente é usado em sistemas de análise e o qual foi concebido como uma combinação linear de funções sinusoidais, no modelo proposto, o som é representado por um sistema de funções senoidais moduladas em frequência e ligadas em redes dinâmicas. Portanto, se for verificado a extensão desse modelo, esse método gerará novos recursos técnicos de análise, transformação e síntese sonora.

Finalmente, os estudos de composição sonora e composição musical com o sistema aqui reportado continuarão sendo realizados e novas publicações relacionadas a outras abordagens composicionais para o método aqui descrito serão divulgadas.

### **Agradecimentos**

Essa pesquisa foi realizada com apoio financeiro da CAPES e CNPq.

### **Referências**

BIDLACK, Rick. Chaotic Systems as Simple (But Complex) Compositional Algorithms. *Computer Music Journal*, v. 16, n. 3, p. 33-47 1992.

CHAPEL, Rubén H. *Realtime Algorithmic Music Systems from Fractals and Chaotic Functions: toward an active musical instrument*. Barcelona, 2003. 75f. Dissertação (submetida ao exame parcial para aquisição de Doutorado) Universitat Pompeu Fabra.

DABBY, Diana. *Musical Variations from a Chaotic Mapping*. Cambridge, 1995. 162f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Ciência da Computação), Massachusetts Institute of Technology.

DI SCIPIO, Agostino. Composition by Exploration of Non-linear Dynamics Systems. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 1990, Glasgow. Escócia. ICMC Glasgow Proceedings, International Computer Music Association, 1990, p. 324-328.

DI SCIPIO, Agostino; PRIGNANO, Ignazio. Synthesis by Functional Iterations. A Revitalization of Non-Standard Synthesis. *Journal of New Music Research*, v. 25, n. 1, p. 31-46, 1996.

DIAZ-JEREZ, Gustavo. *Algorithmic Music: using mathematical models in music composition*. Nova York, 2000. 284f. Dissertação (submetida ao exame parcial para requerimentos em Doutorado em Música). Manhattan School of Music.

DODGE, Charles. Profile a musical fractal. *Computer Music Journal*, v.12, n. 3, p.10-14, 1988.

FORREST, Stephanie. *Emergent Computation: Self-Organizing, Collective, and Cooperative Computing Networks*, Cambridge, MA, MIT Press, 1990.

GOGINS, Michael. Iterated Functions Systems Music. *Computer Music Journal*, v. 15, n.1, p. 40-48, 1991.

MANZOLLI, Jônatas Musical Application Derived from FracWave Sound Synthesis Method. In: AUDIO ENGINEERING SOCIETY CONVENTION, 94, Berlim, 1993, 94th AES Proceedings, Berlim: Audio Engineering Society, 1993.

PETERS, Michael. From Strange to Impossible Interactive Attractor Music. *Contemporary Music Review*, v. 29, n. 4, p- 395-404, 2010.

PRESSING, Jeff. Nonlinear maps as generators of musical design. *Computer Music Journal*, v. 12, n. 2, p. 35-46, 1988.

PUIG, Daniel. *Música e sistemas dinâmicos não-lineares: uma abordagem composicional*. Rio de Janeiro, 2005. 113f. Dissertação de Mestrado em Música, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SLATER, Dan. Chaotic Sound Synthesis. *Computer Music Journal*, v. 22, n. 2, p. 12-19, 1998.

TRUAX, Barry. Chaotic Non-linear Systems and Digital Synthesis: an exploratory study. In: INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC CONFERENCE, 1990. Glasgow, ICMC Glasgow Proceedings: International Computer Music Association, 1990, p. 100-103.

VALSAMAKIS, Nikolas; MIRANDA, Eduardo Reck. Interactive Sound Synthesis by means of cross-coupled digital oscillators. *Digital Creativity*, v. 16, n. 2, p. 79-92, 2005.

---

<sup>1</sup> <http://www.nmelindo.com/concertos/nmeaniversario/>