

ANÁLISE DAS POSSIBILIDADES E QUALIDADES MUSICAIS DOS MÉTODOS DE SÍNTESE DIGITAL DO SOM USADOS NA OBRA “SINOS, TAMBORES E ÓRGÃOS”

Luís Otávio Teixeira Passos

UFMG – Escola de Música

Av. Antônio Carlos, 6627, Campus - Pampulha

CEP 31270-901 Belo Horizonte, MG - Brasil

<http://www.musica.ufmg.br>

passosluis@hotmail.com.br

Resumo - São muitas as possibilidades de criação de timbres através da síntese digital do som. Entretanto, a escolha de um som entre outros, torna-se fundamentalmente importante para compreender o seu potencial enquanto matéria-prima para a composição musical. Ao passo que, refletir sobre este potencial nos permite estruturar a forma de uma música. Baseando-se neste ponto de vista é que foi criada a obra “*Sinos, tambores e órgãos*”. Uma música eletroacústica que explora os sons destes três instrumentos e suas transformações timbrísticas. A síntese do som destes instrumentos se mostrou eficaz pois com simples alterações nos parâmetros de amplitude, frequência, duração e também nas envoltórias, permitiu a síntese de vários sons ricos. Estes, geraram várias possibilidades para serem explorados e desenvolvidos em um contexto musical. Ainda, serão explicados neste artigo todos os métodos de síntese digital do som utilizados e também será mostrada a aplicação de suas qualidades e propriedades musicais na organização estrutural da obra.

Abstract - The possibilities of timbres creation through digital sound synthesis are many. However, the choice of one sound among others, became fundamentally important to understand its potential as a raw material for a musical composition. Whereas, thinking about this potential allow us to structure a musical form. It was based on this point of view, that the work “*Bells, drums and organs*” was composed. An electroacoustic music that explores the sound of these three instruments and their timbres transformation. The sound synthesis of these instruments was effective because with some simple alterations on the parameters of amplitude, frequency, duration and also on the envelopes allowed the synthesis of many rich sounds. These, generated many possibilities to be explored and developed in a musical context. Yet, it will be explained on this article all the methods of digital sound synthesis used and it will be also shown the application of its musical qualities and properties in the structure organization of the work.

I. INTRODUÇÃO

Esta música é baseada na síntese digital de seis tipos diferentes de sons nomeados como órgão 1, órgão 2, tambor 1, tambor 2, sino 1 e sino 2. São explorados os timbres específicos de cada um destes instrumentos bem como sua transformação progressiva.

O som do tambor 1 inicia a peça e aos poucos seu timbre vai sendo moldado até se aproximar do sino 2. Na parte central os timbres não se fundem para formar outros mas se consolidam em uma textura polifônica. São usadas diferentes alturas, envoltórias e durações para cada som de cada instrumento. No final é recapitulada a idéia do início de maneira invertida ou seja, o som do sino 2 é transformado no som do tambor 1.

A síntese do tambor 1, do órgão 1 e dos sinos 1 e 2 foi feita a partir da síntese aditiva, a do tambor 2 e do órgão 2 a partir da síntese subtrativa. Foi usado o programa CSOUND para compilar todos os algoritmos.

II. SÍNTESE ADITIVA

A síntese aditiva é um método para se obter um som (S) complexo através da “soma de osciladores de sinais senoidais, cuja amplitude (A), e, às vezes, a frequência, (f) variam no tempo. [2]” (Fig. 1)

A. Sino 1

O algoritmo usado para a síntese do som do sino 1 foi o primeiro entre quatro propostos por Jean-Claude Risset [3]. Este algoritmo consiste de duas partes:

1ª) Da soma de nove sinais senoidais os quais possuem razão irracional (inarmônica) com a frequência de base (f_b). As razões sugeridas por Risset estão mostradas na Tabela I.

2ª) Do uso de uma mesma envoltória de amplitude para todos os nove componentes, mostrada na Figura 2.

O resultado final é um som próximo a de um sino, com ataque percussivo e que se afasta dos sons encontrados na

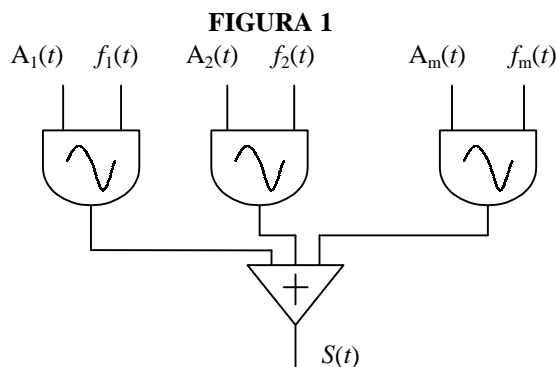
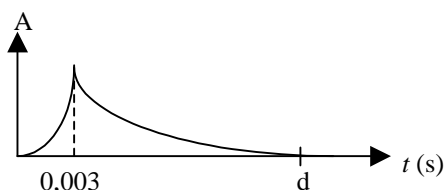


TABELA I

Razões para o Cálculo das Frequências dos Componentes

Número dos componentes		Frequência (Hz)
f_b	=	224,50
f_2	=	$f_b * 1,64$
f_3	=	$f_b * 2,12$
f_4	=	$f_b * 3,04$
f_5	=	$f_b * 3,56$
f_6	=	$f_b * 4,88$
f_7	=	$f_b * 5,34$
f_8	=	$f_b * 6,70$
f_9	=	$f_b * 7,25$

FIGURA 2



natureza pelo fato de todos os seus componentes possuírem uma mesma duração o que não significa ser este aspecto ruim ou indesejável.

Entretanto, esse algoritmo não se mostra muito eficaz para valores de f_b acima de 800 Hz uma vez que seu timbre se distancia de um som real de sino. Por um outro lado, alterando-se f_b para qualquer valor entre 50 e 100 Hz e a duração para 0,5 segundo (por exemplo), obtém-se um som de um tambor. E ainda, mantendo o valor anterior de f_b e mudando a duração para 10 segundos, tem-se um som de um sino.

Assim, com o uso de um mesmo algoritmo e modificando apenas os valores de amplitude e frequência pôde-se obter timbres diferentes (sino e tambor).

B. Tambor 1

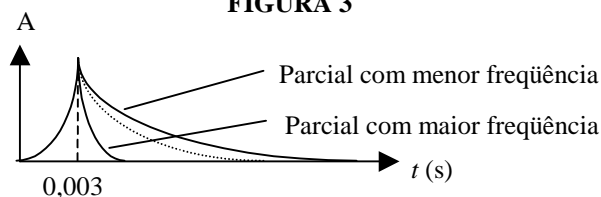
A síntese do som do tambor 1 utiliza o mesmo algoritmo da síntese do sino 1 com apenas três modificações, sendo as duas primeiras cruciais para conseguir um timbre de tambor e a última usada por Risset [3] no segundo tom de sua síntese inarmônica.

1ª) Ao invés de usar $f_b = 224,5$ Hz (como propôs Risset para o som do sino) foram utilizados três novos valores para f_b , 50, 96 e 100 Hz os quais proporcionam três timbres diferentes de tambor: um de som mais grave ($f_b = 50$ Hz) e dois de som médio-agudo ($f_b = 96$ Hz e $f_b = 100$ Hz).

2ª) Foram usados valores menores que 1 segundo para a duração total de cada som do tambor. Esta alteração segue o padrão natural de um som de tambor que geralmente possui duração muito curta.

3ª) Todos os parciais (componentes) utilizam uma envoltória inversamente proporcional à duração ou seja, *quanto maior a frequência de um componente, menor será sua duração*. Isto resulta em um som mais próximo dos que ocorrem na natureza. As envoltórias de amplitude de alguns dos componentes estão ilustradas na Figura 3.

FIGURA 3

**C. Sino 2**

Utilizando-se os mesmos recursos do som do tambor 1 e variando apenas a duração final de cada som que passa a ser em torno de 5 a 10 segundos (ou mais), teremos o som do sino 2. Este recurso é fundamental para a seção inicial da obra pois, alterando-se apenas um elemento da síntese, no caso a duração, obtém-se uma variação rica do som que se inicia com timbre de tambor e termina com timbre de sino.

D. Órgão 1

A síntese do órgão 1 foi baseada nas propriedades do som de um órgão de igreja, que são:

1ª) A amplitude do som deste tipo de órgão atinge seu valor máximo em poucos milissegundos, mantem-se estável por um tempo (x) e depois retorna a zero. A envoltória usada para a síntese do som do órgão 1 pode ser vista na Figura 4.

2ª) Usou-se a mesma envoltória para todos os componentes, variando apenas o valor da amplitude.

As razões usadas para as frequências e amplitudes de cada componente estão listadas na Tabela II.

No CSOUND, os valores possíveis para a amplitude (y) vão de 0 a 32.768.

FIGURA 4

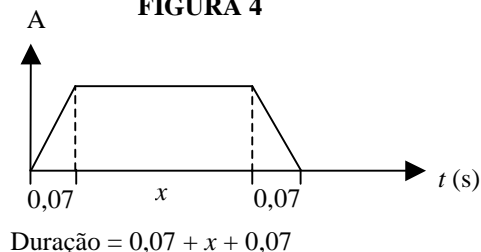


TABELA II

Razões para o Cálculo das Frequências e Amplitudes de Cada Componente

N.º dos componentes	Frequência (Hz)	Amplitude
f_b	= x	$y * 1,20$
f_2	= $f_b * 1,50$	$y * 0,32$
f_3	= $f_b * 2,00$	$y * 0,50$
f_4	= $f_b * 2,50$	$y * 0,006$
f_5	= $f_b * 3,00$	$y * 0,63$
f_6	= $f_b * 3,50$	$y * 0,00007$
f_7	= $f_b * 4,00$	$y * 0,15$
f_8	= $f_b * 4,50$	$y * 0,00055$
f_9	= $f_b * 5,00$	$y * 0,02$
f_{10}	= $f_b * 6,00$	$y * 0,21$
f_{11}	= $f_b * 6,18$	$y * 0,00016$
f_{12}	= $f_b * 7,30$	$y * 0,00014$
f_{13}	= $f_b * 8,03$	$y * 0,125$
f_{14}	= $f_b * 9,12$	$y * 0,001$
f_{15}	= $f_b * 10,00$	$y * 0,007$
f_{16}	= $f_b * 12,00$	$y * 0,00053$
f_{17}	= $f_b * 16,00$	$y * 0,042$
f_{18}	= $f_b * 18,00$	$y * 0,00055$

A síntese do som deste órgão se mostra eficaz para alturas de registro médio. Já para as de registro agudo, seria necessário diminuir o valor da amplitude dos parciais de maior frequência, e para os sons mais graves, diminuir um pouco a amplitude dos parciais de frequência média e aguda e ao mesmo tempo acentuar a amplitude de f_b .

III. SÍNTESE SUBTRATIVA

A síntese subtrativa consiste da filtragem de uma forma de onda complexa a qual é muito rica em harmônicos. Neste tipo de síntese, podem ser usados um ou mais filtros que, separadamente ou em conjunto, acentuam ou diminuem certas características do som a ser filtrado.

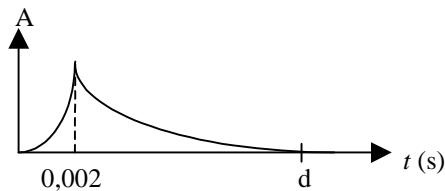
A síntese dos sons do tambor 2 e do órgão 2 basicamente consiste da soma de algumas filtragens de ruído branco. Assim, esta síntese possui características tanto da síntese aditiva (por causa da soma das filtragens) quanto da subtrativa (por causa da filtragem do ruído branco).

A. Tambor 2

A maioria dos sons de características percussivas possuem uma envoltória exponencial de amplitude. Na Figura 5 é mostrada a envoltória usada na síntese do som do tambor 2.

Um elemento contrastante ao som do tambor 1 é o valor da duração que passa a ser em torno de 1,5 segundo. Esta alteração introduz um novo timbre explorado apenas na parte central da obra.

FIGURA 5



Legenda:

f_b - frequência de base
 D_t - duração total do som

B. Órgão 2

A síntese deste som, se contrapõe à síntese do som do órgão 1 apenas no timbre. A envoltória de amplitude é a mesma mostrada na Figura 4 só que o valor da duração é dado pela soma de $0,05 + x + 0,05$.

O som do órgão 2 diferencia-se do órgão 1 por conter uma alta taxa de ruído. Assim, tem-se dois timbres distintos que são explorados polifonicamente nas seções centrais da obra.

IV. ANÁLISE DOS SONS USADOS

Com o propósito de facilitar a análise dos sons digitais foi feita a Tabela III na qual foram colocados as características fundamentais de cada som.

A princípio, os valores de f_b são alterados com o intuito de se obter sons de registro grave, médio ou agudo e os valores de D_t , sons curtos, médios ou longos.

A. Algoritmo de Risset [3]

O som de S_1 consiste apenas da implementação do algoritmo de Risset em linguagem CSOUND [1]. Os valores sugeridos por Risset produzem um som semelhante ao de um sino. Caso o valor de D_t seja muito pequeno (menor que 1 segundo) teremos um som de sino de duração curta. Como o propósito era imitar um som de sino, foram usados valores maiores (a partir de 2,5 segundos) para D_t .

Através de alguns experimentos com esse algoritmo, descobriu-se que também era possível sintetizar um som de tambor mudando apenas os valores de f_b e D_t . Sendo $f_b = 50$ Hz e $D_t = \{x \leq 1 \text{ s}\}$, tem-se a síntese de um tambor, e mantendo o valor de f_b (50 Hz) e mudando apenas $D_t = \{x \geq 5 \text{ s}\}$, tem-se o som de um sino (de som mais grave que S_1).

Se sintetizássemos vários pulsos de T_1 e se a cada novo pulso fossemos aumentando gradativamente o valor de D_t (por exemplo de 0,15 até 10 s) teríamos uma modulação timbrística de T_1 até S_2 . O processo inverso poderia ser obtido diminuindo gradativamente o valor de D_t (por exemplo de 20 até 0,2 s).

TABELA III

Resumo dos Processos de Síntese Digital do Som Usados

	Síntese Aditiva – Soma de sinais senoidais				Síntese Subtrativa – Filtragens de sons brancos	
	Algoritmo de Risset [3]			Algoritmo 1 do Autor	Algoritmo 2 do Autor	Algoritmo 3 do Autor
	Sino 1 (S_1)	Tambor 1 (T_1)	Sino 2 (S_2)	Órgão 1 (O_1)	Tambor 2 (T_2)	Órgão 2 (O_2)
	Os parciais têm a mesma duração (Fig. 2).	Os parciais não têm a mesma duração (Fig. 3).	Os parciais não têm a mesma duração (Fig. 3).	Os parciais têm a mesma duração (Fig. 4).	Os parciais têm a mesma duração (Fig. 5).	Os parciais têm a mesma duração (Fig. 4).
Propriedades	$f_b = 224,5$ Hz	$f_b = 50$ Hz, 96 Hz ou 100 Hz	$f_b = 50$ Hz	$f_b = \{110 \leq x \leq 880 \text{ Hz}\}$	$f_b = \{261,626 \leq x \leq 1.200 \text{ Hz}\}$	$f_b = \{440 \leq x \leq 1.716 \text{ Hz}\}$
	$D_t = \{x \geq 2,5 \text{ s}\}$	$D_t = \{x \leq 1 \text{ s}\}$	$D_t = \{x \geq 5 \text{ s}\}$	$D_t = \{x \geq 1,8 \text{ s}\}$	$D_t = \{x \leq 1 \text{ s}\}$	$D_t = \{x \geq 0,94 \text{ s}\}$
Propósito	O propósito da criação dos sons digitais do S_1 , do S_2 , do T_1 e do O_1 foi imitar os sons acústicos de um sino e um órgão de igreja e um tambor.				O propósito da criação dos sons digitais do T_2 e do O_2 foi imitar apenas a envoltória de amplitude (Figuras 4 e 5) de T_1 e O_1 , mudar o algoritmo e usar outros valores para a duração, no caso do T_2 e apenas mudar o algoritmo no caso do O_2 .	

Também foram usados os valores 96 Hz e 100 Hz para f_b apenas para ter dois sons de registro médio-agudo e aumentar a diversidade de timbres para a composição da obra.

B. Algoritmo 2 do Autor

O som de T_2 é contrastante ao som de T_1 por conter uma maior taxa de ruído. Caso D_i seja maior do que 2 segundos este som se aproximará do O_2 o qual também possui alta taxa de ruído.

C. Algoritmo 3 do Autor

A diferença básica deste som (O_2) com relação ao T_2 , está na envoltória usada (Fig. 4). Ela garante uma maior prolongação da amplitude de todos os parciais o que não ocorre em um som de tambor no qual a amplitude de seus parciais decai rapidamente (Fig. 5).

V. ANÁLISE DA OBRA

Na Tabela IV estão dispostos todos os instrumentos usados em cada seção da obra. A indicação de tempo marca o início destas seções e serve de orientação para o ouvinte.

Legenda:

S_1	- Sino 1
S_2	- Sino 2
T_1	- Tambor 1
T_2	- Tambor 2
O_1	- Órgão 1
O_2	- Órgão 2
$T_1 \rightarrow S_2$	- Variação timbrística de T_1 até S_2
$S_2 \rightarrow T_1$	- Variação timbrística de S_2 até T_1

TABELA IV

Relação dos instrumentos usados em cada seção

Seção	A	B	C	D	E	
	O ₁ T ₁ → S ₂	O ₁ T ₁ T ₂ S ₁	O ₁ O ₂ S ₂	O ₁ O ₂ S ₂ → T ₁	O ₁ T ₁ S ₁	
t (s)	0.00	1.10	1.54	2.30	2.43	3.34

A seção **A** é iniciada por pulsos do T_1 variando timbristicamente até S_2 ($T_1 \rightarrow S_2$). Este evento é sobreposto por notas longas do O_1 . Ambos são explorados até se tornarem desinteressantes do ponto de vista da percepção musical.

Em função disso, são introduzidos na seção **B** novos timbres (T_2 e S_1) mas, ao mesmo tempo, são recapitulados os sons de T_1 e O_1 sendo o último mais importante pois, consiste de um nota longa que aparece em todas as seções da obra.

As seções **A** e **B** são, sob o ponto de vista da forma musical e do timbre, contrastantes pois **B** possui uma diversidade timbrística muito maior que **A**. O som de T_2 , mais próximo de um ruído, se opõe aos sons de O_1 e S_2 da seção **A** os quais não apresentam ruído e possuem uma altura (frequência) mais definida para a percepção do ouvido humano.

As seções **B** e **C** são conectadas por um elemento comum que é T_2 e O_2 . Embora a princípio, eles possam ser

diferentes, ambos são filtragens de ruídos brancos e por isso puderam ser usados como elementos intermediários entre **B** e **C**.

A seção **C** recapitula o som do S_2 e ao mesmo tempo se concentra num elemento formal importante: as notas longas que são apresentadas de forma melódica pelo O_2 e depois reapresentadas pelo O_1 .

A seção **D** é simétrica a **C** pois, recapitula os fragmentos melódicos apresentados em **C** os quais são sustentados por uma nota longa do O_1 e, ao mesmo tempo, **D** introduz pulsos do S_2 variando timbristicamente até T_1 ($S_2 \rightarrow T_1$).

A última seção (**E**) é iniciada por uma série de notas longas do O_1 intercaladas por pulsos do S_1 e do T_1 que remetem à seção **A**.

A articulação do timbre na estruturação da obra é feita a partir de um só timbre, o do tambor que a inicia e aos poucos se transforma em sino. Ao mesmo tempo, vai surgindo o timbre do órgão. Na seção **B**, a diversidade do timbre atinge seu ponto máximo e a partir da seção **C** até a **E**, ele vai sendo reduzido a notas longas dos órgãos e dos sinos, e a pulsos dos tambores que, junto com os sinos vão ocupando o lugar dos outros timbres até se reduzirem aos timbres do T_1 e do S_1 .

Portanto, a macroforma, consiste de um único timbre (o do tambor) que se expande e se contrai até atingir sua forma original.

VI. CONCLUSÃO

No algoritmo de Risset [3], uma mudança no valor de D_i gerou resultados diferentes. Para $D_i = \{x \leq 1 \text{ s}\}$ foi possível sintetizar sons tipo de tambor e para $D_i = \{x \geq 5 \text{ s}\}$ sons de sino. Analisando os sons acústicos de um sino e de um tambor é possível verificar várias propriedades comuns tais como: envoltória exponencial de amplitude, relação irracional de alguns parciais com f_b e uma não comum: a duração. Talvez esse seja o motivo de o valor de D_i ter sido tão importante para a síntese do tambor e do sino.

Já nos algoritmos 1 e 3 do autor (respectivamente O_1 e O_2) o que fez diferenciar o timbre destes dois sons foi o método de síntese usado, lembrando que ambos compartilham a mesma envoltória de amplitude. Em O_1 , houve a síntese de um som de órgão de igreja, enquanto que em O_2 , a síntese de um som com ruído.

Como em O_1 e O_2 , os sons de T_1 e de T_2 diferenciam-se no timbre pelo método de síntese. Ambos possuem uma envoltória exponencial de amplitude (o que caracteriza um som percussivo). No entanto, T_2 tem mais ruídos os quais são prolongados por um tempo maior.

A síntese digital de todos os sons se voltou para um contexto musical. Sendo assim ela se mostrou estruturalmente importante nesta obra pois com poucos algoritmos foi possível sintetizar seis tipos de timbres (S_1 , S_2 , T_1 , T_2 , O_1 e O_2). Considerando ainda, que estes mesmos algoritmos aceitam variação nos parâmetros de frequência, de duração e nas envoltórias de amplitude, esses seis primeiros modelos sonoros puderam ser manipulados gerando um número ainda maior de possibilidades. Por sua vez, essas possibilidades, depois de analisadas, foram escolhidas e

trabalhadas em uma música. Dessa forma, foi possível modular de um timbre para outro ($T_1 \rightarrow S_2$ e $S_2 \rightarrow T_1$), criar relações trimbristicamente contrastantes (como é o caso da seção A com B) e trimbristicamente semelhantes (seção C com D as quais possuem um mesmo material sonoro).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Professor Antônio Gilberto Machado de Carvalho da Escola de Música da UFMG, pelo apoio e incentivo prestados na elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Vercoe, *The Public CSOUND Reference Manual*, Canonical Version 4.07, in J. Ffitch, R. Boulanger, J. Piché & D. Boothe (eds), Media Lab MIT and contributors.
- [2] G. De Poli, “A tutorial on digital sound synthesis techniques”, in C. Roads (ed.), *The Music Machine*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 429-448, 1989.
- [3] J.-C. Risset, “Additive synthesis of Inharmonic tones”, in M. V. Mathews & J. R. Pierce (eds), *Current Directions in Computer Music*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 159-164, 1991.