

UNIVERSIDADE ABERTA



Fractais: da geometria à videoarte

António Manuel Fonseca Domingos

Dissertação orientada pelo Professor Doutor
Adérito Fernandes Marcos

Lisboa, 16 de dezembro de 2013

“Os trabalhos escolares são provas para o caráter, não para a inteligência. Quer se trate de ortografia, de poesia ou de cálculo, está sempre em causa aprender a querer.”

Emile Chartier Alain (1868-1951), *Les idées et les âges*, 1927

Para a minha filha

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento.

O presente trabalho foi realizado sob orientação do Professor Doutor Adérito Fernandes Marcos a quem me cabe exprimir um sincero reconhecimento pelo modo empenhado como me acompanhou e por tudo o que me ensinou.

A todos os restantes professores do Mestrado em Expressão Gráfica e Audiovisual pelos seus ensinamentos.

Aos meus colegas de Mestrado pelo encorajamento, caminhar juntos e troca de experiências.

Um agradecimento especial à minha família que sempre me incentivou apoiou e esteve ao meu lado, vivenciando as minhas angústias e alegrias.

Grato também aos meus colegas da Direção de Infraestruturas pela confiança e apoio que recebi.

Resumo

A descoberta da geometria fractal é datada de meados do séc. XX. É conhecida como a geometria da natureza já que permite descrever muitos fenómenos naturais que apresentam irregularidades que são impossíveis de descrever através dos princípios da geometria tradicional.

O aparecimento de novas tecnologias digitais veio alterar o modo como a arte é encarada. Este trabalho pretende demonstrar possibilidades de integração da geometria fractal e a Teoria do Caos na criação de videoarte, baseando-se em meios informáticos e tecnologias digitais. Visamos assim explorar as potencialidades artísticas oferecidas por *software* gerador de composições visuais como forma de expressão videográfica. Para a criação de vídeos desenvolveu-se e implementou-se um artefacto digital baseado no programa *Apophysis 3D Hack*, disponível gratuitamente, tendo como finalidade a criação de videoarte fractal.

As características estéticas, as propriedades e inúmeras aplicações dos fractais, levaram-nos a realizar este trabalho de experimentação, baseado na geometria fractal e Teoria do Caos, que consiste na criação de vídeo através da aplicação informática. Para o efeito foi criado um blogue disponível em: <http://galeriafractal.blogspot.pt>, como forma de divulgação da arte digital e possibilidades tecnológicas na criação, partilha e globalização da videoarte.

Palavras-chave: Fractais, Arte digital, Geometria, Caos, Videoarte

Abstract

The discovery of fractal geometry dates from the mid twentieth century. It is known as the geometry of nature due to many natural phenomena, which presents irregularities difficult or impossible to describe by the principles of traditional geometry.

The birth of new digital technologies has changed the way we see art. This work aims at demonstrating the integration of fractal geometry and the chaos theory in the creation of videoart, based on digital media and computer technologies. We explore the potential for artistic creation offered by software generator of visual compositions as a form of videographic expression. A digital artifact was developed and implemented in order to create videos based on the program *Apophysis 3D Hack*, available for free, with the purpose of creating fractal video art.

Thus, the aesthetic characteristics, the properties and numerous applications of fractals, led us to undertake this work of experimentation, based on fractal geometry and the chaos theory, which is the creation of video through the computer application. For this purpose we created a blog available at: <http://galeriafractal.blogspot.pt>, as a means of dissemination of digital art and technological possibilities in creating, sharing and widespreading fractal video art.

Keywords: Fractals, Digital Art, Geometry, Chaos, Video art

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Siglas	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização do trabalho	2
1.2. Justificação	3
1.3. Objetivos e questões de investigação	4
1.4. Resultados esperados	5
1.5. Metodologia	5
1.6. Estrutura do trabalho	6
2. O QUE SÃO FRACTAIS?	9
2.1. Introdução	9
2.2. Como tudo começou	10
2.3. O que é um fractal?	16
2.4. Características dos fractais	18
2.4.1. Autossimilaridade ou autossemelhança	20
2.4.2. Complexidade infinita	21
2.5. Dimensão	22
2.5.1. Dimensão Euclidiana	24
2.5.2. Dimensão topológica	24
2.5.3. Dimensão fractal	26
2.6. Calcular a dimensão fractal	27
2.7. Métodos geradores	29
2.7.1. Iteração	29
2.7.2. IFS	30
2.7.3. L-System	32
2.8. Números complexos	34
2.9. Fractais na natureza	37
3. FRACTAIS CLÁSSICOS	40
3.1. Poeira de Cantor	40
3.2. Triângulo e tapete de Sierpinski	41
3.3. Curva e floco de neve de Koch	43
3.4. Curva de Peano	45
3.5. Esponja de Menger	47
3.6. Conjunto de Julia	48
3.7. Conjunto de Mandelbrot	51
4. SISTEMAS DINÂMICOS E A ARTE	56
4.1. Introdução à Teoria do Caos	56
4.1.1. Caos	59
4.1.2. Sistemas não lineares	60
4.1.3. Atratores	64
4.2. Ciência, tecnologia e arte	65

4.3.	A arte fractal é arte?	69
4.4.	A autossimilaridade e M. C. Escher	74
4.5.	Pinturas fractais de Jackson Pollock	78
5.	VIDEOARTE FRACTAL	82
5.1.	Características da arte digital	83
5.2.	O paradigma dos novos artistas	87
5.3.	Sistema de videoarte	89
5.4.	Implementação do projeto	90
5.4.1.	Fractal <i>Flame</i>	90
5.4.2.	Ferramenta criativa <i>Apophysis 3D Hack</i>	92
5.4.3.	Meios técnicos utilizados	96
5.4.4.	Criação e desenvolvimento do trabalho	97
6.	REFLEXÃO	108
6.1.	Análise dos resultados	108
6.2.	Resultados obtidos	112
6.3.	Limitações	113
6.4.	Validação e apresentação	114
6.5.	Trabalhos futuros	118
7.	CONCLUSÕES	119
8.	Bibliografia	122
9.	Anexos	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fases do processo de criação em arte digital/computacional (Marcos, 2012).....	6
Figura 2 - Benoit Mandelbrot (1924-2010).....	12
Figura 3 - Objeto com propriedades autossimilares.....	21
Figura 4 – Aproximações a várias escalas.....	22
Figura 5 - Figura topológica tridimensional.....	25
Figura 6 - Ciclo de uma iteração do conjunto de Mandelbrot.....	29
Figura 7 – Modelos de fractais IFS gerados com o programa <i>IFS Builder 3D</i>	32
Figura 8 - Modelo de fractal L-System com 6 iterações.....	33
Figura 9 - Reta dos números reais.....	34
Figura 10 - Reta dos números reais (x) e imaginários (y).....	35
Figura 11 – Gráfico com apresentação de números complexos.....	35
Figura 12 - Fractais na natureza.....	38
Figura 13 - Conjunto conhecido por Poeira de Cantor.....	40
Figura 14 - Triângulo de Sierpinski.....	42
Figura 15 - Tapete de Sierpinski.....	42
Figura 16 - Curva de Koch.....	43
Figura 17 - Floco de neve de Koch.....	44
Figura 18 – Curva de Peano.....	46
Figura 19 – Outra curva de Peano.....	46
Figura 20 - Curva de Peano-Hilbert.....	47
Figura 21 - Esponja de Menger.....	48
Figura 22 - Gaston Julia (1893-1978).....	49
Figura 23 - Louis Fatou (1878-1929).....	49
Figura 24 – Diversos conjuntos de Julia obtidos com o programa <i>Fractint</i>	50
Figura 25 - Conjunto de Julia.....	50
Figura 26 – Quaternião de um conjunto Julia.....	51
Figura 27 - Conjunto de Mandelbrot obtido com o programa <i>Ultra Fractal</i>	53
Figura 28 - Conjunto de Mandelbrot (Fonte: CAPRA, 2006).....	54
Figura 29 - Ao mudar a precisão Lorenz terá obtido uma figura semelhante a esta.....	61
Figura 30 - Atrator de Lorenz para valores $r = 28, \sigma = 10, b = 8/3$	63
Figura 31 – Atrator com dupla espiral que faz lembrar as asas de uma borboleta.....	64
Figura 32 – Obras de Kerry Mitchell.....	71
Figura 33 - <i>Jazz ala Oscar</i> , Kerry Mitchell, 2000.....	73
Figura 34 - Gravuras de M. C. Escher (Fonte: LOCKER, 2000).....	75
Figura 35 - Uma secção do <i>Circle Limit III</i> sobrepostas numa malha.....	77
Figura 36 – Pinturas de Jackson Pollock.....	80
Figura 37 - <i>BioBodyGame</i>	84
Figura 38 - <i>Talking Cure (2002)</i>	86
Figura 39 - Programa <i>Mandelbulb 3D</i>	93
Figura 40 - Ecrã principal do programa <i>Apophysis 3D Hack</i>	94
Figura 41 – Figuras fractais criadas com o programa <i>Apophysis 3D Hack</i>	95
Figura 42 - Menu <i>Transform Editor</i>	95

Figura 43 – Editor de <i>Scripts</i>	96
Figura 44 - Ajuste do brilho e gama da cor	97
Figura 45 - Variação das formas.....	100
Figura 46 - Mutação de uma imagem.....	102
Figura 47 - Opção de <i>zoom</i> , posição e rotação de imagens.....	102
Figura 48 - Ajuste na graduação da cor.....	104
Figura 49 - Programa <i>VirtualDub</i>	106
Figura 50 - Programa <i>iMovie</i>	107
Figura 51 - <i>Fractal Video 12</i>	109
Figura 52 - <i>Fractal Animation 23</i>	110
Figura 53 - <i>Fractal Animation 32</i>	111
Figura 54 - Visualizações totais e estimativa de minutos.....	116

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Progressão geométrica do floco de neve de Koch	45
Tabela 2. Histórico das visualizações no blogue	114
Tabela 3. Artigos mais visualizados no blogue	115
Tabela 4. Países mais representativos na visualização	116
Tabela 5. Vídeos mais vistos	117
Tabela 6. Países com mais visualizações.....	117

SIGLAS

2D	– Duas dimensões
3D	– Três dimensões
DLA	– Diffusion-limited aggregation
EUA	– Estados Unidos da América
IBM	– International Business Machines
IFS	– Iterated Function System
L-System	– Lindenmayer System
MIT	– Massachusetts Institute of Technology
SCI	– Sensibilidade às condições iniciais

1. INTRODUÇÃO

“A arte é uma mentira que nos permite reconhecer a verdade”

Pablo Picasso (1881 - 1973)

Este capítulo apresenta o tema em estudo e os objetivos associados à concretização deste trabalho. Efetua-se um enquadramento do trabalho, adiantando-se a motivação, questões de investigação, metodologia e os contributos do estudo, terminando com uma breve descrição da organização do mesmo.

A relação entre a tecnologia e a arte há muito que vem sendo considerada à luz dos últimos avanços tecnológicos, que vieram alterar o modo como a arte digital é encarada, provocando também mudanças de paradigmas na própria sociedade.

Este novo paradigma, surgido a partir do emprego de novas técnicas organizacionais e da automação, é uma característica atual. Sem dúvida, este novo modelo está associado à aceleração da evolução e mudança dos métodos de trabalho (...) A mudança de paradigmas deve ser continuamente acompanhada para que todos os indivíduos possam posicionar-se e exercer seu poder de cidadania, (...) Quando mudam os paradigmas, muda com eles o próprio mundo. Ou seja, quando se é guiado por um novo paradigma, vêem-se coisas novas e diferentes olhando os mesmos pontos examinados anteriormente (ATAIDE, 1997).

Este processo de mudança de paradigmas tem vindo a ser estudado e a tecnologia aparenta ser um acelerador do estilo de vida de uma sociedade efêmera. Neste contexto, Bauman no seu livro *Vida Líquida*, exprime um estilo de vida que tem a necessidade de se manter em constante transformação.

A capacidade de transformação da imagem técnica não tem limites, pois elas são criadas em um universo com regras manipuláveis. A exposição constante a esse tipo de imagem também tem influência em nós, a digitalização de acervos ou mesmo de memórias quotidiano cria uma extensão da nossa memória como nenhuma biblioteca antes conseguiria (BAUMAN, 2007, p.106).

Nos últimos anos assistiu-se a um crescimento da arte digital provocado pelo aparecimento de novas tecnologias digitais, que provocou o que podemos definir como a gradual globalização da arte. Esta tendência de produção em massa de arte digital é evidente nos dias de hoje. Contudo, a mudança mais importante verificou-se ao nível dos utilizadores que deixaram de ser meros observadores e passaram a assumir também o papel de produtores de arte digital.

1.1. Contextualização do trabalho

Foi o matemático Benoit Mandelbrot¹ quem utilizou pela primeira vez a palavra fractal que é baseada no latim e deriva do adjetivo *fractus*, cujo verbo *frangere* correspondente significa irregular ou quebrar: criar fragmentos irregulares, fragmentar. A partir daí desenvolveram-se investigações, cujo tema foi a construção e estudo de entidades geométricas fractais. As imagens ou objetos fractais são gerados através de fórmulas matemáticas a partir de funções reais ou complexas, sendo normalmente usados computadores para o processamento e criação.

A geometria fractal é um ramo da matemática conhecida por Teoria do Caos², que estuda as propriedades e comportamento dos fenómenos que não são nem totalmente aleatórios, nem completamente previsíveis, descrevendo muitas situações que não podem ser explicadas facilmente pela geometria clássica. Esta geometria não Euclidiana tem vindo

¹ Benoit Mandelbrot (1924-2010) foi professor na Universidade de Yale. Usou um computador para explorar funções iteradas do conjunto de Julia e encontrou uma equação simples que incluiu todos os conjuntos de Julia. É considerado o pai dos fractais.

² A Teoria do Caos lida com sistemas extremamente sensíveis às condições iniciais que exibem comportamentos muito complexos ou praticamente imprevisíveis com o passar do tempo.

a ser profundamente estudada e aplicada em várias áreas e situações, desde a matemática financeira até à arte digital, passando pela ciência e tecnologia.

Nos últimos anos houve um crescente interesse na arte digital. Os recentes avanços na informática permitem grandes possibilidades criativas para os artistas. Esta integração entre a geometria fractal e a Teoria do Caos resulta numa ampla variedade de possibilidades de criação artística.

1.2. Justificação

Desde os primórdios da humanidade que o homem ambiciona dominar a natureza e desvendar os seus mistérios. A natureza presenteia-nos com fenómenos que têm tanto de perfeito, de regular, como de irregular, instável e não periódico. Aquilo a que chamamos hoje ciência, só foi possível graças às descobertas ao longo do tempo com base na observação exaustiva, na experimentação e no ensaio de teorias.

Este trabalho pretende concentrar-se na pesquisa e desenvolvimento de videoarte fractal, bem como, nos processos e as práticas associadas à utilização de *software* para a sua criação. Enquadra-se no estudo, experimentação e criação de videoarte fractal, avaliando-se os resultados no contexto da arte digital. Assentará basicamente em quatro fases:

- A primeira fase descreve-se a geometria fractal, seus autores, história e conceitos associados;
- Na segunda fase será usado *software* específico para a criação de videoarte;
- Na fase seguinte serão avaliados os resultados obtidos e procede-se com uma reflexão;
- Por último, a disponibilização da videoarte produzida na internet.

Com este trabalho pretende-se construir um modelo que permita a compreensão de novas formas de vídeo e demonstrar a ligação entre a geometria fractal e arte digital, em uma abordagem com infinitas possibilidades criativas.

1.3. Objetivos e questões de investigação

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas várias pesquisas bibliográficas sobre fractais e as suas aplicações, incluindo: livros, teses, dissertações, artigos e sítios de internet, procurando elementos e buscando informações que levassem à compreensão da teoria dos fractais que pudessem ser aplicados à videoarte.

Um dos principais objetivos deste projeto é a experimentação com a criação de videoarte, que tem acompanhado um movimento global de arte contemporânea, a qual é produzida e reproduzida, para e pela internet, a *Web art*. Gilberto Prado separa *Net art* e *Web art* em dois grupos:

Sites de divulgação: dessa categoria faz parte a maioria dos *sites* que se encontra sobre a rubrica ‘arte’ na Internet. Cabe assinalar que muitos dos trabalhos artísticos disponíveis na rede, são imagens digitalizadas desse material que estão expostas em galerias e espaços museológicos. A rede nestes casos funciona basicamente como um canal de informação e indicativo para uma possível visita a esses espaços. O carácter de informação e divulgação são prioritários e remetem a todo tempo à obra original e/ou seu autor e/ou espaço de exposição. (...)

Sites de realização de eventos e trabalhos na rede: Nos dois primeiros grupos que citamos acima (*sites de divulgação*), as redes são sobretudo ‘estruturas’, nos dois grupos que se seguem elas intervêm mais como ‘obra’. Essa participação pode ser compartilhada diretamente com outros ou ser desencadeada a partir de dispositivos particularmente desenvolvidos e direcionados para esses eventos. Por esta classificação, não queremos dizer que os artistas sejam definidos por uma única forma de trabalhar como sua característica exclusiva. As diferentes aproximações artísticas de produção em rede não se excluem, elas são algumas vezes complementares e geralmente concomitantes (PRADO, 1997, p.296-204).

Também constitui um objetivo a experimentação de metodologias de criação de videoarte. Com a finalidade de alcançar os objetivos foi delineado o seguinte percurso:

- Identificar os principais tipos de fractais e as suas características;
- Explicar resumidamente o que são números complexos e a Teoria do Caos;
- Referir alguns artistas que utilizaram a geometria fractal;

- Argumentação crítica da videoarte produzida.

Relativamente à questão genérica da investigação, esta pode ser resumida da seguinte forma: será possível desenvolver e identificar os principais processos, métodos, práticas, e criar uma base teórica e prática capaz de impulsionar outros a desenvolver novas pesquisas e melhorar as técnicas de criação de videoarte fractal?

1.4. Resultados esperados

Os resultados esperados visam responder às diferentes práticas de investigação em arte digital/computacional, nomeadamente:

- Desenvolvimento e criação de arte digital com ênfase na videoarte fractal;
- Aprendizagem de métodos criativos relacionados com este tipo de arte;
- Criação de um conjunto original de imagens e vídeos.

A reflexão sobre os resultados obtidos será baseada em critérios técnicos, originalidade e inovação, devendo ser evidenciadas as características estéticas e visuais mais relevantes. Através de imagens e vídeos produzidos pretende-se dar a conhecer o resultado da fusão entre geometria e a arte digital.

1.5. Metodologia

A criação de videoarte requer um trabalho de aprendizagem baseado na teoria e na experimentação, de modo a tirar proveito das ferramentas tecnológicas existentes. É um trabalho que requer muita paciência e horas de experimentação.

O método adotado no desenvolvimento do presente trabalho baseia-se na produção criativa ou artografia que recorre à utilização de *software* para criação de videoarte, realizando ciclos de reflexão sobre os processos e resultados.

A criação, produção, passando pela experimentação e avaliação dos resultados são feitos com base no seguinte diagrama proposto por Marcos:

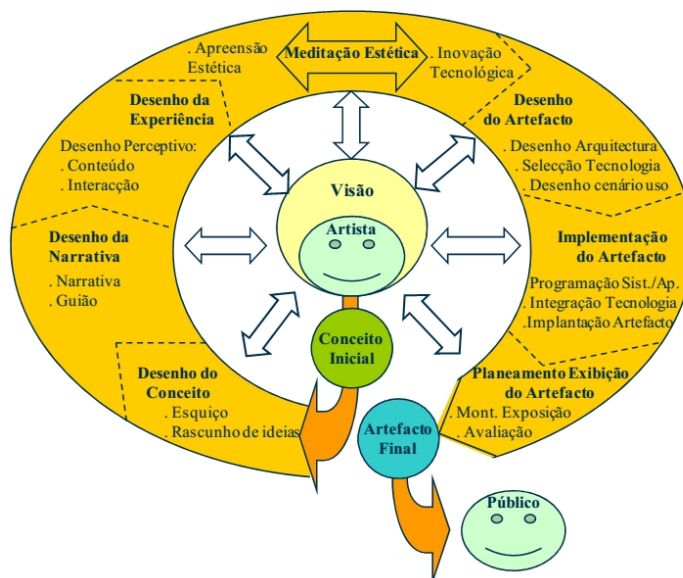


Figura 1 - Fases do processo de criação em arte digital/computacional (Marcos, 2012)

Na arte digital “o processo de *design* criativo é iniciado quando o artista/criativo se apodera de um conceito/ideia de partida, mesmo que inconsciente desse facto, e usa-o para lançar-se na criação. (...) Trata-se de um processo que é usualmente muito dinâmico, embora a visão do artista esteja sempre presente” (MARCOS, 2012, p.140).

Com o propósito de elaborar um trabalho empírico que permita a criação de videoarte, foi concebido um plano de trabalhos para a criação de vídeo fractal utilizando o programa *Apophysis 3D Hack*³.

Para a publicação dos resultados foi criado um blogue disponível em: <http://galeriafractal.blogspot.pt> e um canal no *Youtube* disponível em: http://www.youtube.com/channel/UCiCvEPptOsJ5-WW0Epp-6_w.

1.6. Estrutura do trabalho

Com o intuito de apresentar a pesquisa sob um ponto de vista teórico e prático, este trabalho foi dividido em capítulos e subcapítulos. Os quatro primeiros procuram efetuar um enquadramento do propósito do trabalho. Nos capítulos quinto e sexto é desenvolvido um trabalho empírico, evidenciando a metodologia utilizada e análise dos resultados. No sétimo capítulo faz-se a conclusão deste trabalho.

³ Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/apophysis/>

O capítulo 1, “Introdução”, apresenta as linhas gerais do desenvolvimento da dissertação. São tecidas algumas considerações iniciais a respeito da escolha do tema, justificação, objetivos genéricos, questões de investigação, resultados esperados e metodologia. Conclui-se com uma pequena descrição da estrutura do trabalho.

O capítulo 2, “O que são fractais?”, é apresentado o enquadramento teórico da dissertação, nomeadamente, uma introdução aos fractais e as suas características. São também abordados os diferentes tipos de dimensão, bem como, o cálculo da dimensão fractal e métodos geradores. Apresenta-se uma breve explicação matemática dos números complexos e alguns exemplos de fractais na natureza.

O capítulo 3, “Fractais Clássicos”, onde se dá a conhecer as características que permitem reconhecer os fractais mais conhecidos, a histórica e elementos matemáticos que lhe serviram de base. São descritos os principais fractais clássicos: poeira de Cantor, triângulo e tapete de Sierpinski, curva e floco de neve de Koch, curva de Peano, esponja de Menger, conjunto Julia e conjunto de Mandelbrot.

O capítulo 4, “Sistemas Dinâmicos e a Arte” inicia-se com a introdução à Teoria do Caos. Descreve-se o que caracteriza o Caos, os sistemas não lineares e os atratores. Neste capítulo também se efetua se aborda a arte e a técnica. É colocada a questão se a arte fractal é se pode considerar arte. Por fim descreve-se a relação entre a geometria e a arte, baseada em dois artistas conhecidos por utilizarem técnicas fractais nas suas obras: a autossemelhança utilizada por M. C. Escher e as pinturas fractais de Jackson Pollock.

O capítulo 5, “Videoarte Fractal”, apresenta o trabalho empírico desta dissertação. Este capítulo versa essencialmente a criação de videoarte fractal baseada em *flames*, contextualizando o seu uso e a relação com a arte fractal e as questões e paradigmas dos novos artistas. Implementa-se a criação de videoarte através do programa *Apophysis 3D hack*. São também descritas as principais fases do processo criativo da videoarte fractal.

O capítulo 6, “Reflexão”, procede-se à verificação dos resultados. Apresenta-se uma resenha das limitações do trabalho, abrangendo quer as que são específicas da forma como o trabalho foi conduzido, quer as que decorrem mais genericamente do método utilizado. São também apresentadas algumas sugestões para trabalho futuro.

O capítulo 7, “Conclusões”, faz uma súmula dos resultados obtidos.

O texto deste trabalho conclui-se com dois anexos. No Anexo 1 apresentam-se várias figuras fractais criadas pelo programa *Apophysis 3D Hack* sem qualquer tratamento gráfico posterior. No Anexo 2 o *script* de programação utilizado no âmbito deste trabalho para a criação de videoarte fractal através de *flames*.

2. O QUE SÃO FRACTAIS?

“Uma geometria não pode ser mais verdadeira do que outra; poderá ser apenas mais conveniente.”

Poincaré (1854 - 1912)

2.1. Introdução

Os fractais possuem algumas propriedades especiais como a autossemelhança (ou seja, a parte é uma reprodução exata ou apenas estatística do todo), que as figuras geométricas como retângulos, círculos e quadrados não possuem. São geralmente conhecidos por possuírem uma forte carga estética, havendo até artistas contemporâneos que reclamam a arte fractal como uma forma de arte que cultiva elementos de fragmentação, alterando a forma de produção de arte, substituindo o lápis e pincel, pelo computador.

Os fractais são descritos como padrões infinitamente comprimidos dentro de um espaço finito. Não importa quais as suas características específicas ou métodos de geração, pois todos são baseados em algum tipo de iteratividade, desempenhando as fórmulas um papel menor se comparadas com os poderes iterativos em ação.

Com o recente desenvolvimento das tecnologias informáticas, os fractais tornaram-se facilmente acessíveis ao grande público que pode aplicar fórmulas matemáticas complexas, repetindo continuamente um modelo padrão para conseguir obter imagens de rara beleza.

O termo fractal foi referido pelo matemático polaco Benoit Mandelbrot em 1975, para descrever padrões matemáticos autossimilares, onde a parte reflete o todo. De acordo com Mandelbrot (1998), a geometria fractal é o meio-termo entre a geometria Euclidiana e o caos geométrico da matemática geral.

Foi Mandelbrot quem mais tarde definiu de uma forma mais clara o que outros matemáticos já tinham observado, ou seja, a geometria fractal. “A figura geométrica fractal ou objeto fractal combina as seguintes características: as suas partes têm a mesma forma ou estrutura que o todo; as suas formas são extremamente irregulares, interrompidas e fragmentadas” (MANDELBROT, 1983).

Para Gleick (1998, p.108) “a palavra “fractal” passou a representar uma maneira de descrever, calcular e pensar sobre formas irregulares e fragmentadas, recortadas e descontínuas”.

2.2. Como tudo começou

Euclides⁴ tentou provar que todas as formas geométricas simples podiam ser previstas matematicamente. Contudo, deixou de lado um elemento importante: a dimensão.

Antes da geometria fractal a geometria mais conhecida era a geometria Euclidiana, a geometria das figuras perfeitas que existe há cerca de 2.300 anos. Agora conhecemos novas geometrias que apresentam figuras irregulares, formas que não conseguem ser estudadas na geometria tradicional e não podem ser consideradas figuras perfeitas. As formas Euclidianas pareciam encaixar-se bem do ponto de vista teórico, tendo permanecido sem modificações significativas durante mais de dois mil anos. Uma vez que estas formas parecem tão familiares dão uma forte impressão de naturalidade.

No século XVIII, Isaac Newton⁵ e Gottfried Leibniz⁶ criaram o cálculo, uma das vertentes da matemática útil para o estudo das funções para achar as derivadas que são a

⁴ Euclides de Alexandria (cerca 325 a.C. - 265 a.C.) foi professor, matemático e escritor. É referido como o "Pai da Geometria". Além de sua principal obra “Os Elementos”, Euclides também escreveu sobre perspectivas, secções cónicas, geometria esférica, teoria dos números e rigor. A geometria euclidiana caracteriza-se pelo espaço euclidiano, imutável, simétrico e geométrico, que se manteve incólume no pensamento matemático medieval e renascentista. Só nos tempos modernos se construíram modelos de geometrias não euclidianas.

⁵ Sir Isaac Newton (1643-1727) foi um cientista inglês, mais reconhecido como físico e matemático, embora tenha sido também astrónomo, alquimista, filósofo e teólogo. Sua obra, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, é considerada uma das mais influentes na história da ciência. Publicada em 1687, esta obra descreve a lei da gravitação universal e as três leis de Newton, que fundamentaram a mecânica clássica.

⁶ Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646- 1716) contribuiu para a construção do Cálculo. Leibniz nasceu em Leipzig, estudou direito e filosofia. Em 1666, escreveu a tese *De Arte Combinatoria*, um trabalho acerca do método de raciocínio; trabalho este, que contribuiu para o seu doutoramento em Filosofia na Universidade de Altdorf, para comprovar a sua aptidão para o ensino.

medida de variação nos valores destas funções. Contudo, algumas funções eram descontínuas e não previam tangentes nos pontos isolados. Outras possuíam a singularidade de mudanças abruptas de direção onde a derivada não tinha existência que permitisse o desenho da reta tangente eram vistas como exceções. As atenções focaram-se nas funções “bem comportadas” pois funcionavam bem a descrever a natureza.

Estes eventos considerados “estranhos” ou “mal comportados” pareciam não ter semelhança na natureza. Na época dominava uma filosofia determinística. Os conceitos físicos pretendiam simbolicamente demonstrar um universo previsível. Era dada maior atenção às funções “bem comportadas” que podiam descrever os fenômenos naturais, deixando as outras funções para que futuros estudos as pudessem clarificar.

No início da década de 1870, Karl Weierstrass⁷ descreveu uma função que era contínua mas não era diferencial, pois em nenhum ponto se podia descrever uma tangente à curva.

A partir de 1870, alguns matemáticos e físicos passaram a interessar-se e a prestar mais atenção às funções “mal comportadas”. Henri Poincaré⁸, ao estudar a estabilidade do sistema solar, desenvolveu um método surpreendente que além de permitir descrever as órbitas dos planetas conhecidos na época, revelou a possibilidade de existência de órbitas “caóticas” que nunca se tornavam periódicas ou previsíveis. Em 1880, Poincaré desenvolveu um método que hoje é chamado de topologia⁹. O conjectura de Poincaré é fundamental na topologia, o ramo da matemática que lida com as formas. Também é chamada “geometria sem pormenores”. Assim, em topologia dois objetos são considerados idênticos se puderem ser transformados um no outro sem dobrar ou rasgar, como se fossem feitos de uma massa elástica.

⁷ Karl Theodor Wilhelm Weierstraß (1815-1897), conhecido como Karl Weierstrass, foi um matemático alemão, professor na Universidade de Berlim, conhecido por ser o pai da análise moderna.

⁸ Jules Henri Poincaré (1854-1912), foi um dos maiores matemáticos da França, físico teórico e filósofo da ciência. Contribuiu para a teoria de funções complexas, a teoria dos números, geometria algébrica e diferencial, e muitos outros ramos da matemática aplicada. Contribuiu também para clarificação da geometria hiperbólica inventando um modelo conhecido por *Modelo de Poincaré*.

⁹ Topologia refere-se ao estudo das propriedades que permanecem invariantes nas transformações biunívocas e bicontínuas (FERREIRA, 1988), trabalha com questões de forma e silhuetas desde o ponto de vista qualitativo. A topologia tem propriedades invariáveis sob a influência de espaços metricamente equivalentes: abertura, proximidade, limitado, integridade, solidez e dimensão fractal (BARNESLEY, *et al.*, 1986).

Georg Cantor¹⁰ veio a adotar um procedimento simples que repetido podia transformar uma linha num monte de “poeira” de pontos e Giuseppe Peano¹¹ gerou pela primeira vez uma curva ondulada que tocava em cada ponto do plano.

Esta aproximação revelou que muitos movimentos iniciais rapidamente caíam em curvas familiares e outras em curvas que eram estranhas e cujas órbitas nunca eram previsíveis e periódicas. Aparentemente, durante muito tempo, estes fenómenos não tinham relação entre si, no entanto, estavam a convergir para um padrão, o movimento caótico, os gráficos de séries de tempo irregulares, tinham sempre alguma autossimilaridade. Os matemáticos continuaram a trabalhar para tentar descobrir essa relação.

Foi o matemático Benoit Mandelbrot que em 1958, depois de 20 anos de pesquisas percebeu a correlação entre estas funções e observou uma nova classe de figuras geométricas. Anteriormente, essas figuras geométricas foram estudadas por vários matemáticos, mas na década de 1960, Mandelbrot apresenta uma posição concreta baseando-se em estudos que já existiam nessa área, e apresenta a teoria dos fractais. Essas formas saíam da categoria de linhas unidimensionais, planos bidimensionais e volumes tridimensionais.



Figura 2 - Benoit Mandelbrot (1924-2010)

¹⁰ Georg Cantor (1845-1918), matemático, foi professor da Universidade de Hale. Dedicou-se a pesquisas para a fundamentação matemática conhecida pela Teoria dos Conjuntos.

¹¹ Giuseppe Peano (1858-1932), foi um matemático italiano e professor na Academia Militar de Turim.

Benoit Mandelbrot nasceu em Varsóvia, na Polónia em 1924. A família veio posteriormente a emigrar para Paris em 1936 devido à II guerra mundial. O tio, Szolem Mandelbrot era professor de matemática no *College de France* e o responsável pela sua educação. Mandelbrot começou a ficar insatisfeito em relação à geometria clássica uma vez que não demonstrava ser a abstração adequada para compreender a complexidade da natureza. Em 1948, foi para os EUA onde se dedicou a vários campos do conhecimento, entre eles a matemática, economia, termodinâmica, geologia, comunicação, meteorologia, informática e biologia. Sempre possuiu uma intuição geométrica muito apurada. Foi devido ao avanço dos computadores que pôde demonstrar a geometria fractal. Os fractais expandiram-se pelo mundo inteiro como uma nova forma de se observar e entender a natureza. Esta nova geometria teve origem nos estudos e pesquisas baseados em fenómenos como a “estrutura do ruído nas comunicações telefónicas, a flutuação dos preços nas operações do mercado, e no estudo empírico da geometria dos litorais” (CARVALHO; SILVA, 1986).

Em 1954, Benoit Mandelbrot trabalhava no Instituto de Pesquisa James Watson da *International Business Machines* (IBM) a estudar o ruído presente nas transmissões telefónicas apercebeu-se de um padrão comum que se repetia em diferentes escalas que lhe fazia lembrar alguns fractais já conhecidos como a poeira de Cantor, curva de Peano, curva de Koch ou triângulo de Sierpinski. Estas “curvas” eram conhecidas até então como “monstruosas” porque satisfaziam algumas propriedades de curva, mas não eram graficamente fáceis de representar.

Ao estudar flutuações do ruído eletrónico apercebeu-se de uma estrutura que surgia: as hierarquias de flutuações de todos os tipos não podiam ser descritas pelos métodos estatísticos existentes. Nos anos seguintes, estes problemas aparentemente sem relação foram juntos numa ideia a que daria o nome de geometria fractal (BARBOSA, 2003). Como Mandelbrot tinha acesso a computadores criou uma equação iterativa que deu lugar ao conhecido conjunto.

Mandelbrot teve a necessidade de classificar alguns objetos que não possuíam dimensão inteira, mas sim fracionária. O seu trabalho inicial foi publicado no livro *Les Objets fractals: forme, hasard et dimension, survol du langage fractal*, em 1975, e mais tarde de uma maneira mais completa no livro *The fractal geometry of nature*, em 1983.

Embora na época os matemáticos não tivessem dado crédito ao trabalho, cientistas de outras áreas acolheram os estudos com entusiasmo e souberam encontrar uma variedade de aplicações.

O termo fractal foi utilizado por Mandelbrot pela primeira vez no seu livro *The Fractal Geometry of Nature*, onde explica como cunhou a palavra fractal:

Eu cunhei a palavra fractal do adjetivo em Latim *fractus*. O verbo latino correspondente *frangere* significa 'quebrar': criar fragmentos irregulares. É contudo sabido - e como isto é apropriado para os nossos propósitos! - que, além de significar 'quebrado' ou 'partido', *fractus* também significa 'irregular'. Os dois significados estão preservados em fragmento (MANDELBROT, 1983).

A palavra começou a popularizar-se e a caracterizar as formas irregulares e as novas geometrias descobertas depois de em 1983 ter publicado o livro *The Fractal Geometry of Nature*. O grande salto que Mandelbrot deu foi o de perceber a potencialidade e a possibilidade de usar os fractais para resolver problemas matemáticos complexos. Foi a partir do estudo de Mandelbrot que a geometria fractal despontou como uma nova área da matemática. Mandelbrot, no seu livro afirma: “Para descrever os pormenores irregulares e quase aleatório de muitos dos padrões da natureza, não nos podemos limitar à geometria Euclidiana. Com a geometria fractal, a matemática torna-se menos "fria" e "austera" e de certo modo reconcilia-se, com a velha Natureza, que desde sempre serviu de motivo e inspiração para a Matemática”.

Ao transcender as limitações impostas pela matemática clássica, ressaltou no seu trabalho que os matemáticos foram de certa forma iludidos pela Natureza que mostra ter mais diversidade de formas. Ao aceitar o desafio, Mandelbrot desenvolveu e concebeu esta geometria da natureza e implementou o seu uso em inúmeras aplicações como: análise matemática, modelação do mercado de ações, previsão meteorológica, a distribuição de galáxias no universo, radiação cósmica de fundo, finanças, compressão de imagens utilizando algoritmos fractais, arte digital, entre outras. A partir desta teoria Mandelbrot descreveu vários modelos de fragmentos irregulares que encontramos à nossa volta.

A primeira definição de fractal criada pelo próprio Mandelbrot diz o seguinte: “Um conjunto é dito Fractal se a dimensão Hausdorff-Besicovitch deste conjunto for maior do que a sua dimensão topológica” (MANDELBROT, 1975).

Contudo, com o decorrer do tempo ficou claro que esta definição era muito restrita, embora apresentasse algumas motivações pertinentes. Mais tarde, Mandelbrot escreve:

Porque é que a geometria é habitualmente descrita como fria e austera? Uma razão reside na sua inaptidão em descrever a forma de uma nuvem, de uma montanha, de uma linha costeira, de uma árvore. As nuvens não são esferas, as montanhas não são cones, as linhas costeiras não são círculos e a casca de uma árvore não é suave, nem os relâmpagos se propagam em linha reta (...) A natureza exhibe não apenas um grau mais elevado, mas um nível de complexidade completamente diferente. O número de diferentes escalas de comprimento dos motivos naturais é para todos os efeitos infinito. A existência desses motivos desafia-nos a estudar aquelas formas que Euclides deixou de parte como não tendo uma forma definida, desafia-nos a investigar a morfologia do amorfo (MANDELBROT, 1983).

Mandelbrot percebeu que na natureza as estruturas complexas desordenadas são muito comuns e podiam ser criadas a partir de computadores. A partir da desordem podia achar-se um padrão ordenado e bem definido. Um exemplo de um sistema caótico simples é o de uma colónia de formigas onde a primeira impressão é o de uma desorganização de milhares de formigas, mas o que na verdade ocorre é uma organização em castas e obrigações individuais.

Para Mandelbrot (1998): “o mundo que nos cerca é caótico, mas podemos tentar imitá-lo no computador. A geometria fractal é uma imagem muito versátil que nos ajuda a lidar com os fenómenos caóticos e imprevisíveis”.

2.3. O que é um fractal?

Durante muitos séculos a geometria Euclidiana com os seus objetos e conceitos foi considerada a melhor forma de descrever o mundo à nossa volta. Ao concentrar-se na forma deixou de lado a dimensão.

A descoberta de geometrias não Euclidianas introduziu novos tipos de objetos. A geometria fractal foi desenvolvida a partir dos estudos de Pierre Fatou¹² e Gaston Julia¹³ que teorizaram o que acontece com um número complexo z quando é aplicado iterativamente.

Um fractal é um conjunto, objeto ou forma que ao ser observado numa pequena parte mantém um aspeto similar, ainda que não necessariamente idêntico, ao que representa ao ser observado de forma completa. É uma forma geométrica complexa com uma dimensão fracionária, ou seja, não é um número inteiro. Possui ainda a extraordinária propriedade da autossemelhança, em que a parte é semelhante ao todo repetindo-se como se olhássemos pelo “buraco de uma fechadura” e víssemos outras portas com outra fechadura, sucessivamente.

A definição de fractal ainda é um problema em aberto na matemática. As tentativas para definir um fractal nunca foram completas, deixando sempre algumas lacunas. Contudo, Mandelbrot fez várias tentativas, mais ou menos bem-sucedidas.

Será necessário definir uma figura fractal de modo rigoroso, para em seguida dizer que um objeto real é fractal por se assemelhar à figura geométrica que constitui o modelo? Considerando que um tal formalismo seria prematuro, adotei (...) um método baseado numa caracterização aberta e intuitiva, onde os avanços se efetuam por retoques sucessivos (MANDELBROT, 1998, p.14).

Os fractais apresentam uma infinidade de formas. No entanto, existem duas características consensuais: a autossemelhança e complexidade infinita. Um fractal é

¹² Pierre Joseph Louis Fatou (1878-1929), foi um matemático francês. Trabalhou no campo da dinâmica analítica complexa.

¹³ Gaston Maurice Julia (1893-1978), foi um matemático francês.

formado por pequenas partes onde cada parte se parece com o todo e cada uma destas pequenas partes é formada por várias outras partes menores, cada uma semelhante à parte maior. Para Moisset (2003, p.135), “A forma de uma curva fractal repete-se similarmente em escalas cada vez menores contendo cópias de si mesmas”.

Um fractal é uma figura ou forma geométrica fragmentada ou irregular que pode ser subdividida em infinitas partes que serão cópias reduzidas de um todo. São geralmente semelhante entre si independente da escala¹⁴. Também descrevem variados elementos do mundo real como nuvens, montanhas, turbulências, linhas costeiras, que não correspondem a figuras geométricas simples.

Atualmente o melhor conceito para definir um fractal pode ser descrito como um processo simples e repetitivo que forma uma estrutura complexa com semelhanças em todas as escalas, apresentando uma dimensão fracionada.

Os fractais são estruturas geométricas de enorme complexidade e de rara beleza. São também imagens de objetos abstratos que possuem a característica do todo infinitamente multiplicada no interior de cada parte, escapando desta forma à compreensão da sua totalidade pela mente humana. Na complexidade infinita, um fractal nunca será completamente representado, pois faltam sempre pormenores. Mesmo que estes pormenores sejam sucessivamente ampliados, haverá sempre saliências e reentrâncias cada vez menores.

Para descrever a complexidade, Gleick (1989, p.132) afirma: “A nova geometria dá a ver um universo que é irregular e não redondo, escabroso e não suave. É uma geometria do irregular, do quebrado, do retorcido, do entretecido”.

Mandelbrot (1998) explica que as formas são naturais e caóticas e que a geometria fractal pode ser representada pelos objetos rugosos, porosos ou fragmentados. Os fractais são irregulares, autosimilares, de complexidade infinita, desenvolvidos através de iterações, dependem de uma condição inicial e são comuns na natureza (LORENZ, 1963). A iteração é o processo recursivo que forma o objeto fractal.

¹⁴ Escala (do latim *scala*) quer dizer escada. Pode ser entendida a partir da existência de um padrão de medição com o qual se faz a graduação através da medição da variação de uma grandeza.

Na realidade os fractais verdadeiros existem apenas na matemática. As curvas ou superfícies do mundo real não são fractais verdadeiros pois os objetos reais são produzidos por processos que atuam sobre uma faixa finita de escalas.

2.4. Características dos fractais

Fractais são formas geométricas extremamente complexas e virtualmente infinitas, criadas a partir de um modelo matemático normalmente simples conhecido como método de função recursiva ou iterativa. Um método de função iterativa é caracterizado por gerar uma série de valores numéricos obtido por determinada dependência entre um valor da função e o seu valor seguinte. Os valores são calculados utilizando a matemática dos números complexos. Devido à indeterminação provocam um sistema caótico nos padrões de imagem, sendo o resultado desta indeterminação uma variação nas curvas da função do tipo exponencial, dependendo do valor inicial da função e do método utilizado para essa mesma função. É um procedimento infinito que se traduz num finito número de iterações.

A iteração é a transformação aplicada repetidamente ao objeto e a recursividade é a característica do processo iterativo que recorre sempre à mesma forma de maneira idêntica ou transformada. A ideia subjacente aos fractais é que diante da iteração de uma fórmula simples se pode obter uma estrutura muito complexa e rica (MOISSET, 2003, p. 135).

Além de se apresentarem como formas geométricas, os fractais representam funções reais ou complexas e apresentam determinadas características: a autossimilaridade, dimensão e complexidade infinita. Uma figura é autossimilar se uma parte da mesma é semelhante ao todo. Por exemplo: árvores e fetos são considerados fractais naturais. Também podem ser modelados em computador usando algoritmos recursivos. Para Moisset (2003, p. 135) “A forma de uma curva fractal repete-se similarmente em escalas cada vez menores contendo cópias de si mesma”.

Os fractais são objetos que podem ser obtidos geometricamente, aleatoriamente ou através de processos recursivos, apresentando determinadas características que não se encontram em formas da natureza. Embora a definição de fractal possua algumas lacunas, um fractal possui características em que uma parte se assemelha ao todo, possuindo também dimensões fracionárias. “Estamos habituados à ideia que uma linha é unidimensional, um plano, bidimensional, um sólido, tridimensional. Todavia, no mundo dos fractais a dimensão adquire um sentido mais lato e não precisa de ser um número inteiro” (STEWART, 1991, p.301).

A dimensão fractal de um objeto mede o seu grau de irregularidade. “É mais do que unidimensional mas não chega a ser bidimensional” (GLEICK, 1989, p.140). Mandelbrot pôde determinar com precisão a dimensão fracionária recorrendo a técnicas criadas por Hausdorff no início do século XX.

A autossemelhança também está relacionada com o conceito de dimensão que pode ser traduzida matematicamente por um coeficiente chamada dimensão fracionária. Esta dimensão é diferente da dimensão topológica habitual a que corresponde um número inteiro.

Uma construção fractal pode possuir todas as características, ou a maioria (MURR *et al.*, 2008):

- Uma estrutura fina em qualquer escala; as sucessivas ampliações de um fractal levam a mais detalhes indefinidamente. Se for suficientemente ampliado surgem mais detalhes. Se o fractal for gerado por computador os detalhes aparecem nas sucessivas ampliações, até ao que o computador suportar;
- Não podem ser descritos com linguagens geométricas tradicionais ou através de uma função analítica;
- Os fractais são construídos através de processos iterativos e não é possível representá-los por uma função simples;
- Possuem alguma espécie de autossimilaridade mesmo que remotamente. Esta autossimilaridade foi chamada por Mandelbrot de homotetia interna consistindo na obtenção de réplicas menores da figura através do fator de ampliação, no caso dos fractais;

- A dimensão fractal é maior que a sua dimensão topológica: a dimensão fractal diz respeito à dimensão espacial, ao espaço que a figura ocupa;
- Na maior parte dos casos tem uma lei de formação simples: é um processo que é repetido a cada iteração.

2.4.1. Autossimilaridade ou autossemelhança

Os fractais aparecem ligados às formas da natureza, ao desenvolvimento da vida e até à própria compreensão do universo. Os objetos fractais apresentam as características do todo infinitamente multiplicado dentro de cada parte, sendo esta uma característica de autossemelhança ou autossimilaridade. Para Gleick a principal característica dos fractais é a autossemelhança.

Acima de tudo, fractal significa autossemelhança. A autossemelhança é a simetria através de escalas. Significa recorrência, um padrão dentro de outro padrão (...) Formas monstruosas como a curva de Koch exibem uma autossemelhança porque parecem exatamente a mesma coisa, mesmo sob grande ampliação. A autossemelhança está contida na técnica de construção de curvas - a mesma transformação é repetida em escalas cada vez menores. A autossemelhança é uma característica facilmente identificável (GLEICK, 1989).

Uma figura pode ser considerada autossemelhante se apresentar o mesmo aspeto visual em qualquer escala, quer seja reduzida ou ampliada, ou seja, se parte da figura é semelhante à figura como um todo. A natureza ao mostrar autossimilaridade em diferentes escalas possui um *design* fractal. Os fractais independentemente da proporção e da escala repetem-se dentro de si mesmos (CARVALHO; SILVA, 1986).

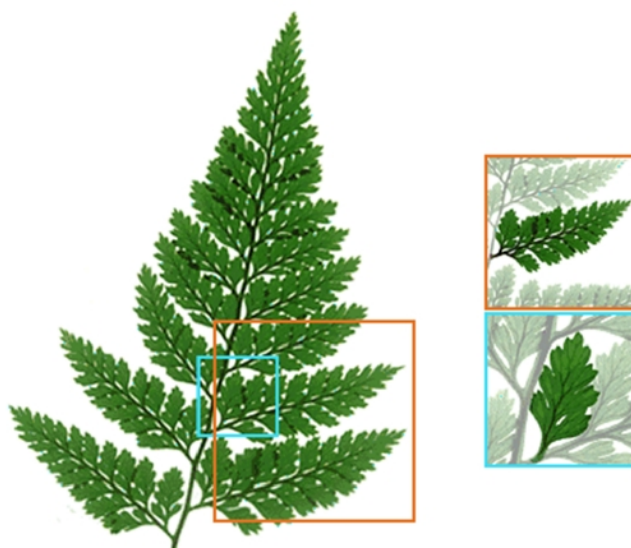


Figura 3 - Objeto com propriedades autossimilares¹⁵

Contudo,“(...) nem todos os objetos autossimilares são fractais. Uma linha Euclidiana, por exemplo, é exatamente autossimilar, mas o argumento de que objetos Euclidianos são fractais é defendido por poucos” (FERNANDES, 2007, p. 19).

Dentro da autossimilaridade ainda existem dois tipos: a autossimilaridade exata e a estatística. Na exata, as partes são cópias dos padrões em diferentes ampliações. Na estatística, os padrões já não se repetem com a mesma exatidão, as estatísticas dos padrões é que diferem (TAYLOR, 2003).

2.4.2. Complexidade infinita

A ideia de infinito está subjacente nos fractais. No processo de construção de um fractal repete-se indefinidamente: o número de lados, o perímetro e a área, que por vezes se aproxima do infinito. “Para os olhos da mente, um fractal é uma maneira de entrever o infinito” (GLEICK, 1989, p.137).

Ao observarmos um objeto fractal verificamos a existência de detalhes que nunca conseguimos representar corretamente. Se ampliamos uma parte nunca conseguimos

¹⁵ Fonte: <http://lounge.obviousmag.org/>

visualizar todos os detalhes porque existirão sempre saliências e reentrâncias cada vez menores.

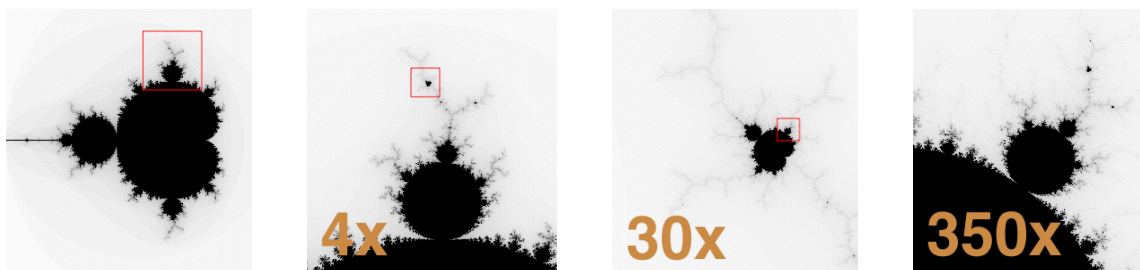


Figura 4 – Aproximações a várias escalas¹⁶

À medida que fazemos *zoom* da imagem a estrutura a que se chega é novamente a inicial. A última sequência é igual à primeira e revela autossimilaridade que é uma das características dos fractais.

2.5. Dimensão

Para os gregos o universo tinha três dimensões, baseando-se nos sentidos e nos princípios da geometria Euclidiana. Os gregos percebiam objetos dotados de comprimento, largura e altura. Os atributos comprimento, largura e altura correspondem ao que designamos matematicamente por dimensão. Na geometria Euclidiana uma linha tem uma dimensão, um objeto com comprimento e altura será um objeto bidimensional e um sólido possui comprimento, largura e altura é definido como um objeto com três dimensões.

A geometria Cartesiana, criada pelo filósofo e matemático René Descartes¹⁷ diferia da Euclidiana por definir a dimensionalidade da linha em termos distintos do comprimento, largura e altura. Deste modo, Descartes defendia que as dimensões de um objeto estão relacionadas com o número de coordenadas necessárias para a sua descrição.

Os objetos são caracterizados pela sua dimensão. Uma linha precisa de uma coordenada para ser definida, portanto a sua dimensão é 1. No quadrado ou retângulo

¹⁶ Fonte: <http://www.wikipedia.com>

¹⁷ René Descartes (1596-1650), por vezes chamado de fundador da filosofia e matemática moderna, é considerado um dos pensadores mais influentes da história humana. Notabilizou-se pelo seu trabalho revolucionário na filosofia, na ciência e matemática por sugerir a fusão da álgebra com a geometria.

precisa-se de duas coordenadas par serem definidos, então a sua dimensão é 2, no caso do cubo precisamos de 3 coordenadas, a sua dimensão é 3.

Se olharmos à nossa volta, os objetos naturais que nos cercam apresentam formas que a geometria Euclidiana não consegue descrever porque esses objetos naturais não são simples linhas, quadrados, triângulos ou esferas. Possuem uma estrutura mais complexa.

Adiante explicaremos o conceito de dimensão fractal ou de Hausdorff-Besicovitch de modo a compreender a existência de conjuntos fora do âmbito da geometria Euclidiana, cuja dimensão não se restringe ao conjunto de números inteiros, e onde se encontram os conjuntos fractais.

Na história humana a crescente percepção do mundo natural foi atribuindo ao universo um número cada vez maior de dimensões. Quase sempre a percepção manteve-se atrasada em relação ao pensamento matemático no que respeita às dimensões. Este pensamento desenvolveu-se de tal modo que atualmente os matemáticos falam em mundos de múltiplas dimensões.

Tudo se alterou com a descoberta de novas geometrias não Euclidianas, como a geometria hiperbólica e elíptica. De acordo com Santana:

Por ocuparem espaços distintos: a geometria Euclidiana com espaços de curvatura nula, a geometria esférica com curvatura positiva e a geometria hiperbólica com curvatura negativa passaram a ter suas aplicações voltadas para diferentes realidades. No entanto, o facto do descobrimento de outras geometrias não invalidou a primeira delas (...). Deste modo, a geometria presente no universo é uma geometria Euclidiana quando engloba objetos que nos cercam cuja curvatura não se altera (curvatura nula). É uma geometria esférica ou hiperbólica quando envolve distâncias ínfimas como objetos visíveis através de aparelhos eletrónicos (...) ou quando considera grandes objetos ou distâncias como, por exemplo, a distância de Salvador a Espanha (SANTANA, 2008, p. 17).

Neste excerto do texto de Santana, torna-se evidente que a geometria Euclidiana não é suficiente para descrever espaços ou superfícies que envolvam distâncias muito grandes ou pequenas.

2.5.1. Dimensão Euclidiana

Euclides tentou provar matematicamente que todas as formas da natureza podiam ser reduzidas a formas geométricas simples. A geometria Euclidiana utiliza fórmulas e equações que descrevem apenas curvas e superfícies lisas, enquanto a geometria Fractal utiliza algoritmos e fórmulas iterativas, tendo como ferramenta o computador para descrever muitos elementos que possuem irregularidades. “Os matemáticos e os físicos não estão limitados ao estudo de sistemas simples e lineares: têm diante de si o mundo real, bem mais complexo e fascinante” (FIOLHAIS)¹⁸.

Na geometria Euclidiana as três medidas remetem ao conceito associado à dimensão fazendo com que os objetos não apresentam irregularidades nas suas formas. No caso dos fractais as curvas irregulares têm dimensão que varia entre um e dois, as superfícies irregulares têm dimensão entre dois e três.

A geometria Euclidiana é própria para descrever “fenómenos ordenados e artefactos da civilização” (CARVALHO; SILVA, 1986). Mandelbrot coloca as seguintes questões: Será uma nuvem formada por esferas, ou as montanhas por cones? Existem comportamentos na natureza que fogem completamente da geometria clássica Euclidiana (MANDELBROT, 1998).

2.5.2. Dimensão topológica

O conceito de dimensão topológica relaciona-se com a forma como um conjunto ocupa o espaço. Em topologia, as linhas podem ser manipuladas em linhas curvas, círculos em triângulos ou quadrados. Uma curva pode ser coberta com círculos de raio minúsculo de modo que existam pares de bolas com interseção não vazia.

A dimensão topológica é fácil de compreender já que fala de conectividade dos pontos do objeto de medida. Euclides, em *Elementos*, define implicitamente o conceito de dimensão topológica Euclidiana. Uma figura é unidimensional se a sua fronteira é

¹⁸ Carlos Fiolhais, é licenciado em Física pela Universidade de Coimbra e doutorado em Física Teórica em Frankfurt/Main Alemanha. É professor Catedrático no Departamento de Física da Universidade de Coimbra e já foi professor nos Estados Unidos e no Brasil.

composta de pontos; bidimensional, se a fronteira é composta de segmento de retas, tridimensional, se está composta de superfícies.



Figura 5 - Figura topológica tridimensional

Desde o ponto de vista topológico sabemos que a circunferência e um segmento retilíneo são a mesma curva e encerram o mesmo tipo de superfície, pois é possível transformar uma na outra mediante uma deformação contínua. Do ponto de vista métrico não é a mesma curva, já que a circunferência e a área que encerra, o círculo, são finitos e pelo contrário, o segmento ainda que finito, não encerra com o seu bordo uma área finita. Aparece aqui uma característica moderna da matemática: tentar classificar os objetos pelo que se conserva, pelos invariantes e analisar por outra parte, o que ocorre com o que não se conserva. Neste exemplo, o que se conserva é o caráter topológico, ou seja, a sua dimensão topológica.

O próprio conceito de dimensão tem um significado matemático muito amplo, portanto oferece um amplo repertório de definições. Entre elas existe sempre a noção de recobrimento do objeto estudado por outra forma matemática, cujo diâmetro tende para zero.

Uma definição diferente de dimensão topológica é a definição por semelhança, chamada também como já vimos de autossimilaridade, como foi sugerido em 1919 por Felix Hausdorff, readaptada posteriormente por Besicovich (dimensão de Hausdorff-Besicovich) e que é usada na definição de fractal que Mandelbrot propôs.

2.5.3. Dimensão fractal

Porque é difícil definir a costa ou fronteira de um país? Porque a medida é feita a partir de uma aproximação da extensão real que ignora os recortes da fronteira. Quanto mais pequeno for o objeto de medição, maior será a medida. Um exemplo tipo de um fractal é o comprimento de uma da costa típica medida com régua de diferentes tamanhos. Quanto menor for o comprimento da régua maior será o valor obtido. Este facto é conhecido como: paradoxo do conceito do contorno da costa. O contorno de uma costa é um exemplo de um fractal.

Lewis Richardson¹⁹ foi o primeiro a aperceber-se que determinar o comprimento de uma costa não é tão simples como parece. Tudo depende do tamanho da régua usada pois quanto menor for a régua mais sinuosidade vai conseguir medir.

Se por acaso a fronteira de um país fosse uma forma Euclidiana, o método de somar distâncias em linhas retas cada vez menores convergiria para uma medida que seria a sua verdadeira extensão.

A dimensão fractal surge da necessidade de descrever e calcular certos fenómenos ou objetos da natureza que não possuem forma definida. A dimensão fracionada torna-se uma maneira de medir a fragmentação ou a irregularidade de um objeto. Gleick referindo-se a Mandelbrot, afirmou:

Mandelbrot especificou maneiras de calcular a dimensão fracionada dos objetos reais, levando-se em conta alguma técnica de construção de uma forma, ou alguns dados, e fez com sua geometria uma afirmação sobre os padrões irregulares que estudara na natureza: a de que o grau de irregularidade permanece constante em diferentes escalas. Com frequência surpreendente, tal afirmação se mostra verdadeira. O mundo exhibe, repetidamente, uma irregularidade regular (GLEICK, 1989, p.91).

¹⁹ Lewis Fry Richardson (1881-1953) foi um matemático, físico, meteorólogo e pacifista inglês. Foi também pioneiro nas modernas técnicas matemáticas de previsão do tempo atmosférico e na aplicação de técnicas similares para o estudo das causas das guerras e como preveni-las. Também se destacou pelo seu trabalho pioneiro sobre fractais, tendo sido membro da *Royal Society*.

Após a introdução do conceito de dimensão fractal é indiscutível a sua importância e a veracidade dos resultados obtidos nas inúmeras pesquisas desenvolvidas. A dimensão fractal fornece uma forma de medir a irregularidade das curvas fractais que se formam em torno de uma superfície.

A definição de dimensão de Hausdorff-Besicovitch foi a escolhida por Mandelbrot para definir os fractais. A dimensão “torna-se uma maneira de medir propriedades que (...) não têm definição clara: o grau de aspereza, ou de fragmentação, ou de irregularidade de um objeto” (GLEICK, 1989, p.93). É mais qualitativa, não se restringindo aos números 0, 1, 2, 3 e até admite números não inteiros e irracionais.

Mandelbrot ao avançar com o conceito de dimensão fracionária retomou a ideia de Hausdorff, tornando possível a existência de objetos com dimensões desde zero ao infinito, definindo inicialmente fractal como um conjunto para o qual a dimensão de Hausdorff-Besicovitch excede estritamente a dimensão topológica. Desta forma é possível ter a noção de dimensão fractal que nos permite traduzir a rugosidade e irregularidade de um objeto.

Voltando ao problema das linhas costeiras, Mandelbrot afirma que talvez não seja a resposta que não satisfaça a pergunta: “Quanto mede o litoral da Grã-Bretanha?”, mas sim, a própria pergunta que, deveria ser “Qual a dimensão fractal do litoral da Grã-Bretanha?” (MANDELBROT, 1983).

Em conclusão, a dimensão de uma curva fractal caracteriza-se na medida em que o comprimento entre dois pontos aumenta à medida que a escala diminui.

2.6. Calcular a dimensão fractal

Dada a importância que a dimensão fractal tem vamos resumidamente caracterizar o que se entende por dimensão e calcular o seu valor. A forma de definir dimensão fractal foi desenvolvida pelos matemáticos Felix Hausdorff²⁰ e Abram Besicovich²¹, que discutiremos a seguir.

²⁰ Felix Hausdorff (1868-1942) foi um matemático alemão. É considerado um dos fundadores da topologia moderna e contribuiu significativamente para a teoria dos conjuntos e para a análise funcional. Definiu e estudou conjuntos parcialmente ordenados, espaço de Hausdorff e dimensão de Hausdorff, provou o teorema

Na geometria tradicional a dimensão é igual ao valor do expoente n . Na dimensão fractal ou de Hausdorff-Besicovitch uma linha pode ser dividida em n partes iguais ($n = n^1$). Logo podemos considerar que o fragmento da reta é $1/n$, um quadrado pode dividir-se em n^2 partes iguais, um cubo em n^3 partes iguais, um hipercubo divide-se em n^n partes iguais.

A dimensão de qualquer fractal pode ser calculada utilizando o seguinte método: tomamos uma linha com comprimento L (unitário, ou seja, $L = 1$). Esta linha pode ser dividida em N partes iguais (elementos), sendo que cada segmento desta “reta” (escala) é $u = \frac{1}{N}L$. Assim, $N = L/u$. Da mesma forma, um quadrado de lado n contamos $N = (L^2/n^2)$ com um cubo $N = (L^3/n^3)$, que precisamos para cobrir o objeto. De um modo geral, este processo acabará por levar a $N = (L/n)^d$, em que L é o comprimento de uma linha, n é o número de partes em que a linha pode ser dividida na iteração da construção de um fractal e N é um conjunto do segmento na iteração da própria construção do fractal.

Pode dizer-se que a dimensão fractal tem a seguinte expressão:

$$D = \frac{\log (n^{\circ} \text{ de peças})}{\log (\text{escala})} \quad (1)$$

Aplicando o logaritmo a ambos os membros obtém-se a seguinte fórmula:

$$D = \frac{\log N}{\log \left(\frac{L}{n}\right)} \quad (2)$$

a D chama-se de dimensão fractal ou de Hausdorff.

Mandelbrot (1983) definiu resumidamente que os fractais são objetos matemáticos que podem ser definidos como “um conjunto (de pontos no espaço Euclidiano) para o qual a dimensão de Hausdorff excede a dimensão topológica”.

da Maximalidade de Hausdorff, resolveu o que hoje é conhecido como Problema do Momento de Hausdorff, e publicou trabalhos literários e filosóficos sob o pseudónimo de "Paul Mongré".

²¹ Abram Samoilovitch Besicovitch (1891-1970) foi um matemático russo naturalizado britânico que trabalhou principalmente na Inglaterra. Em 1927 foi para a Universidade de Cambridge, tendo sucedido John Edensor Littlewood na Cátedra Rouse Ball de Matemática.

2.7. Métodos geradores

Vamos seguidamente descrever três dos principais métodos geradores de fractais. Em muitos casos os fractais são formados através de processos iterativos. No entanto, nem todo o processo iterativo origina um fractal. Como exemplo: se a um segmento de reta retirarmos um pedaço final e repetirmos a operação consecutivamente, obtemos um segmento mais pequeno que não é um fractal.

2.7.1. Iteração

A iteração é a repetição de um procedimento recursivamente. No caso dos fractais o valor inicial está relacionado com cada ponto do plano do espaço que se necessita calcular. Depois de calculada a fórmula pela primeira vez, toma-se o valor resultante tornando a introduzi-lo na fórmula. Resulta um novo valor é torna-se a calcular. Esta rotina é representada como um processo dinâmico. Quando um dado inicial é inserido, passa por um “processo” até se tornar um dado de saída. Este dado retorna ao início e começa o ciclo, no qual passa a ser o dado inicial e o processo novamente iniciado.

Iterar é submeter o resultado de uma determinada operação, tornar a pegar no resultado submetendo-o novamente à operação repetindo o processo inúmeras vezes. É através da iteração que existe o contraste entre a complexidade e a simplicidade de um fractal, que consiste em repetir o mesmo princípio numa espécie de *feedback* infinito (PEITGEN; SAUPE, 1988).

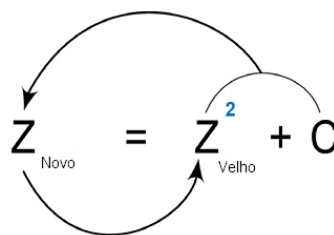


Figura 6 - Ciclo de uma iteração do conjunto de Mandelbrot

Em algumas ocasiões os números parecem “explodir” na fórmula e avançam rapidamente para o infinito, ou convergem para um valor finito, e em outros casos estabilizam em ciclos que se repetem. Deste modo basta definir uma cor para cada ponto

em função do comportamento durante a iteração. O mais interessante não é o processo de iteração em si mesmo, são as fórmulas e as regiões do plano onde aplicamos este processo.

Por vezes o comportamento de dois pontos muito próximos é radicalmente oposto, por exemplo: um diverge até ao infinito e outro converge até um valor dado. Visualmente, as cores podem variar drasticamente, formando espirais e outras formas complicadas. As regiões do plano em que se dá a troca abrupta de cor são os que definem a forma do fractal (BARRALLO, 2005).

Com o aumento de regiões do conjunto fractal aparecem diante dos nossos olhos novos desenhos que se tornam diferentes ao submergir no interior de determinado conjunto. Um único conjunto fractal, como o fractal de Mandelbrot, permite-nos explorá-lo ilimitadamente obtendo sempre alterações inesperadas apesar de manter um aspeto familiar durante toda a exploração, recordando o conceito de autossimilaridade que caracteriza os fractais (BARRALLO, 2005).

Com os atuais computadores e programas informáticos é muito fácil aumentar um fractal e ter a certeza de que é único, pois a enorme rapidez com que se submerge na imagem permite com alguns cliques de rato uma exploração teoricamente infinita.

2.7.2. IFS

Os fractais IFS foram desenvolvidos por Michael Barnsley²², em 1988, quando publicou o livro *Fractals Everywhere*. A essência deste sistema de fractais é o detalhe ilimitado, a autossimilaridade e invariância por escala. As bases são transformações sucessivas de cada subconjunto replicando o conjunto por meio de um simples algoritmo.

Figuras regulares não conseguem expressar alguns padrões de fenómenos naturais, como a formação de nuvens ou o crescimento e disposição de galhos e folhas de árvore. A aplicação de forma recursiva de conjuntos irregulares ou funções matemáticas simples pode descrever precisamente tais processos (BARNSELEY *et al.*, 1986).

²² Michael Fielding Barnsley é um matemático britânico, pesquisador e empresário que já trabalhou no desenvolvimento dos fractais.

Os fractais IFS trabalham essencialmente com algoritmos baseados em álgebra linear, mais precisamente com transformações lineares e afins²³. Operam facilmente em espaços 2D ou 3D a partir de pequenos conjuntos de parâmetros numéricos e podendo ser classificados conforme o tipo de algoritmo utilizado: determinístico ou aleatório.

- Fractais determinísticos são também conhecidos como fractais geométricos sendo subconjuntos gerados por transformações geométricas simples do próprio objeto (conjunto de Cantor, Peano, etc.);
- Fractais aleatórios representam a própria natureza.

Em ambos os casos os parâmetros são válidos para espaços bidimensionais e tridimensionais. Em espaços n dimensionais usa-se ainda o parâmetro P que representa a probabilidade.

Uma folha de um feto é um exemplo de um fractal IFS. A primeira vez que foi apresentada foi no artigo sobre fractais IFS. Nesse artigo, Barnsley desenvolveu um teorema conhecido por Teorema da Colagem (BARNSELY *et al.*, 1986). Este teorema demonstra que um fractal tipo IFS é formado pela colagem de várias partes que por sua vez são similares relativamente ao todo. No feto cada folha mais pequena é uma cópia da folha toda. Um exemplo onde se observa a estreita relação que existe entre a geometria fractal e a natureza.

Um fractal tipo IFS é um ponto fixo de uma contração. A questão que normalmente se coloca é a seguinte: “que contração” e “em que espaço”? Supondo que se pretendem construir fractais que sejam “figuras” no plano. Logo um fractal é um subconjunto \mathbb{R}^2 . O espaço de Hausdorff é definido por: $H(\mathbb{R}^2) = \{A \subset \mathbb{R}^2 \mid A \text{ é compacto e não vazio}\}$ (DOMINGUES, 1982).

²³ Em geometria, uma transformação afim ou mapeamento afim (também chamada afinidade) entre dois espaços vetoriais consiste numa transformação linear seguida por uma translação.

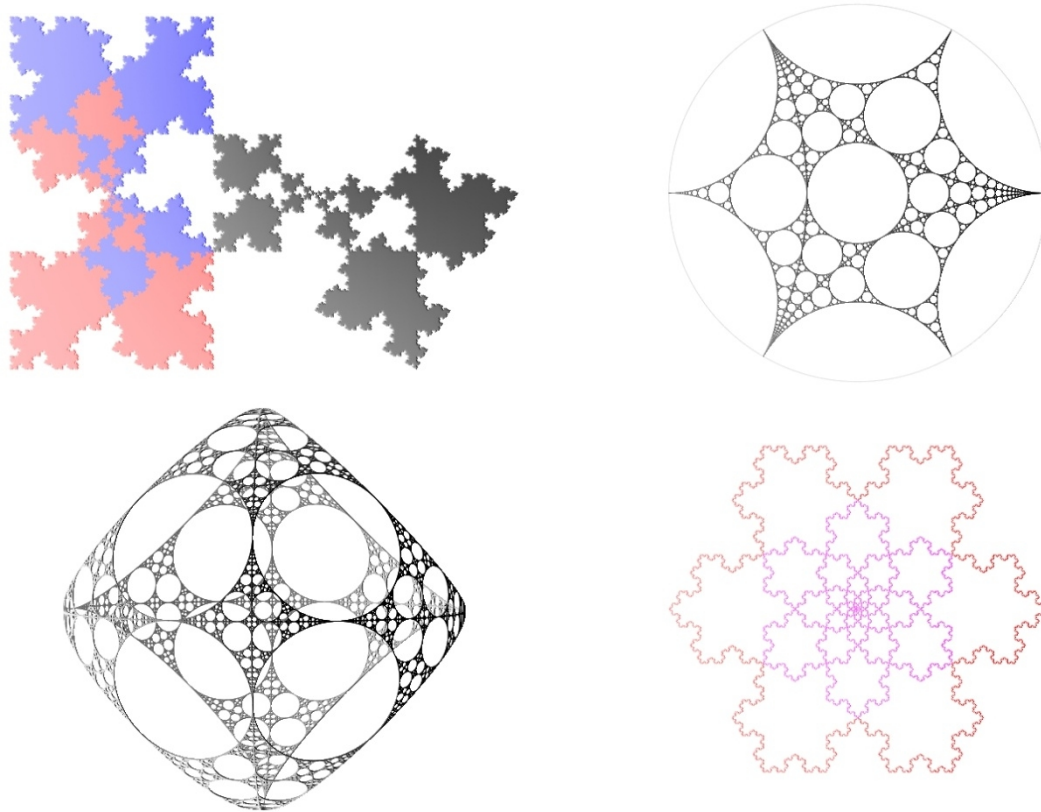


Figura 7 – Modelos de fractais IFS gerados com o programa *IFS Builder 3D*

O computador é um instrumento muito valioso no estudo e construção de fractais IFS, pois permite realizar com rapidez uma enorme quantidade de cálculos e representá-los graficamente dando a possibilidade de observar nas figuras as implicações da alteração de alguns parâmetros. Contudo, por muito potente que seja o computador a sua capacidade de cálculo e representação gráfica é sempre limitada. Com o Teorema da Colagem podem-se elaborar fractais muito complexos.

2.7.3. L-System

Em 1968 o biólogo e botânico húngaro Aristid Lindenmayer²⁴ da Universidade de Utrecht publicou um artigo sobre o crescimento das plantas expondo um método simples

²⁴ Aristid Lindenmayer (1925-1989), foi um biólogo húngaro. Em 1968, desenvolveu um tipo de linguagem formal que hoje é chamado L-system ou Sistemas de Lindenmayer. Utilizando o seu sistema, Lindenmayer conseguiu modelar o comportamento de células de plantas.

que utilizava para registrar os padrões que encontrava. Este método foi batizado de *Living Systems (L-System)*. O método consistia no seguinte: a partir de um elemento (segmento de reta, polígono, etc.), acrescentar iterativamente outros elementos geocêntricos elementares culminando num conjunto repetitivo de observações. As figuras produzidas ainda que sejam geradas artificialmente resultam num impressionante realismo.



Figura 8 - Modelo de fractal L-System com 6 iterações²⁵

O fractal *L-System* pode ser gerado por uma recursividade infinita. Contudo, usa-se um número finito de iterações de modo a manter a fidelidade das formas a representar.

O elemento inicial do fractal *L-System* é chamado de *axiom* (axioma²⁶) que corresponde à iteração de número 0. Com a alteração do ângulo criam-se novos apêndices, acréscimos e partições de segmentos, marcações de pontos, seleções de cores, entre outros,

²⁵ Gerado em: <http://kevs3d.co.uk/dev/lscystems/>

²⁶ Um axioma ou postulado, é uma premissa ou ponto de partida do raciocínio. Tal como concebido classicamente, um axioma é uma premissa tão evidente a ponto de ser aceite como verdadeira sem controvérsia.

executados conforme código definido. Apesar do método ter sido inicialmente criado com o objetivo de descrever o crescimento das plantas também pode produzir formas abstratas.

2.8. Números complexos

Para entender a teoria dos fractais e o conjunto de Mandelbrot é preciso conhecermos os números complexos. Os números complexos possuem características especiais um pouco diferentes dos números com que lidamos diariamente. Possuem uma parte real e uma parte imaginária, sendo a parte real formada por números comuns: 1, 3, 25, 57 (...). A parte designada por unidade imaginária satisfaz a condição, $i = \sqrt{-1}$. Por exemplo, um número complexo pode ser $3 + 2i$, parte real mais parte imaginária, respetivamente. A origem do nome imaginário vem do facto de nenhum número real multiplicado por ele mesmo pode resultar num número negativo, não sendo possível obter-se a raiz quadrada de um número imaginário expresso em números reais. Por outras palavras, não é possível obter-se a raiz quadrada de um número negativo.

Para representar os números reais precisamos de “linha dos números reais” e separamos a linha dos números \mathbb{R} em negativos e positivos usando o original (0 zero) como limitador.

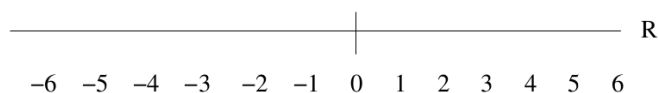


Figura 9 - Reta dos números reais

Para os números complexos precisamos de ter duas dimensões para representar a reta dos reais e a reta dos imaginários.

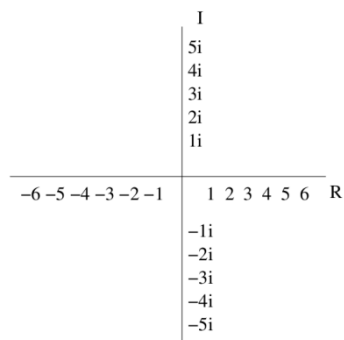


Figura 10 - Reta dos números reais (x) e imaginários (y)

A figura seguinte apresenta os números complexos $[1 + 4i]$, $[3 + 2i]$, $[2 - 2i]$.

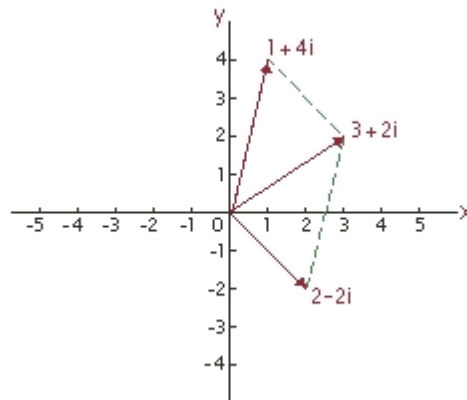


Figura 11 – Gráfico com apresentação de números complexos

Um número complexo é um par ordenado $z = (a ; b)$, em que a abcissa a é a parte real e a ordenada b é o coeficiente da parte imaginária. A parte imaginária tem como unidade o número i em que $i^2 = -1$ (propriedade básica), então $i = \sqrt{-1}$. Os números complexos podem ser escritos na forma algébrica: $z = a + bi$, ou na forma trigonométrica: $z = \rho (\cos\theta + i\sin\theta)$, em que ρ que é chamado de módulo representa a distância da origem dos eixos ao ponto z e pelo ângulo θ .

Como exemplo: o conjunto de Mandelbrot do qual se vai falar à frente é obtido quando se submetem os números complexos (números do tipo $a + ib$, em que a e b são números reais e i é a constante imaginária) a um processo iterativo. Ao repetir este processo, obtém-se uma sequência de números u_n cuja distância ao 0 (ou seja, o módulo

$|u_n|$) mantém-se finita ou tende para o infinito. No conjunto de Mandelbrot esta é a fronteira entre o finito e o infinito.

A matemática necessária para a produção das imagens resume-se a uma fórmula iterativa no plano dos números complexos $z = x + iy$:

$$f(z_n) = z_{n+1} = z_n^2 + c \quad (3)$$

com $c = a + ib$ uma constante complexa e $n=0,1,2,\dots$. Tem de se partir de um certo valor de z_0 ("semente"). O conjunto de Mandelbrot é o conjunto dos valores de c tais que, para $z_0 = 0$, a iteração não diverge, isto é, z não toma valores arbitrariamente grandes. Um conjunto de Julia, por outro lado, associa-se a cada número c do conjunto de Julia: é o conjunto das "sementes" z_0 .

Para construir o conjunto de Mandelbrot atribui-se a cor a um número complexo $a + ib$ qualquer, que vais ser desenhado como um ponto no plano. Submete-se o número complexo $z (a + ib)$ ao seguinte processo iterativo:

$$z_{n+1} = z_n^2 + c \quad (4)$$

onde c é constante.

Para o comportamento de z_{n+1} temos as seguintes possibilidades:

- Se z_n se mantém finito atribui-se por exemplo a cor preta a z ;
- Se z_n tende para o infinito podem atribuir-se cores diferentes a z , dependendo do comportamento de z_n .

Através da iteração o programa informático gerador transforma os números complexos em coordenadas. Este número é submetido à fórmula matemática, itera a fórmula até que o resultado não passe um determinado limite. Esta condição pode verificar se o ponto saiu de uma determinada região do ecrã ou entrou noutra. Um comportamento possível destas possibilidades pode ser um estado estacionário, outro comportamento pode

ser uma convergência para a repetição periódica de estados, outro pode ainda ser uma corrida descontrolada para o infinito.

2.9. Fractais na natureza

Quando observamos a natureza percebemos que a maioria dos objetos é muito complexa. As formas da natureza são regra geral irregulares, retorcidas e entrelaçadas. Uma paisagem natural surge da superposição de detalhes irregulares e casuais às formas geométricas dominantes. Com a simples observação de fenômenos naturais descobrem-se figuras fractais de extrema beleza que têm dimensão menor ou igual à dimensão do espaço Euclidiano.

Os fractais encontram-se em toda a natureza abrangendo uma enorme gama de escalas. Encontramos a representação dos mesmos padrões nos vasos sanguíneos, couve-flor, pulmões, ramificações de árvore, sistema arterial, redes fluviais entre outros. Independentemente de escala, estes padrões são formados pela repetição simples de um processo de ramificação.

Inversamente, o mundo tecnológico permaneceu essencialmente Euclidiano. A tecnologia foi desenvolvida sem explorar a estrutura em várias escalas, apesar da matemática e milhões de anos de evolução atestarem a importância dos fractais.

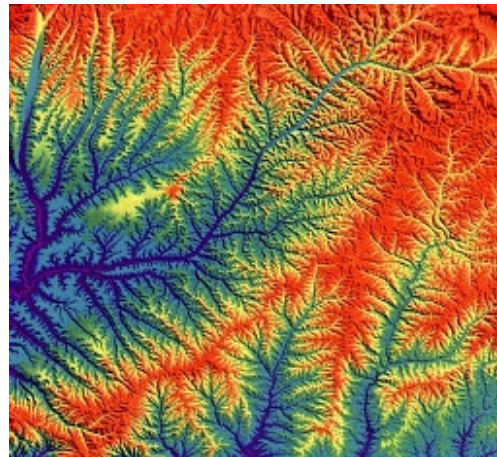
A ideia de fractal é um conceito estritamente matemático, contudo, inúmeras formas encontradas na natureza satisfazem as condições necessárias para que sejam consideradas fractais. A autossimilaridade que existe na folha de feto assemelha-se a qualquer um dos seus fragmentos, que por sua vez, se assemelha a fragmentos mais pequenos. O feto é um pseudo-fractal natural exibindo uma estrutura complexa próxima dos objetos matemáticos.

Uma das formas fractais bastante comum na natureza é a espiral que pode ser encontrada ao longo de uma enorme gama de escalas, como num turbilhão de fluido ou no padrão de formação de estrelas e galáxias. Estes fractais naturais são formados combinando rotação e expansão de modo a gerar uma espiral ubíqua.

O reino vegetal está cheio de espirais fractais. Um cato forma na sua espiral de crescimento novas peças girando num ângulo fixo. Outras plantas formam espirais desta forma: girassóis, pinhas, etc. A natureza tem utilizado fractais há milhões de anos. Só recentemente o homem começou a inspirar-se e a copiar formas fractais naturais para construir dispositivos de modo a replicar estas formas em aparelhos e objetos.



Folhas de feto



Rede de um rio na China



Cato



Couve-flor romana

Figura 12 - Fractais na natureza

As formas que observamos na natureza e as formas geométricas Euclidianas quase nunca são semelhantes. Na maior parte dos casos a comparação entre objetos da geometria

Euclidiana e a natureza não passa de uma comparação grosseira, pois a natureza consegue sempre surpreender.

3. FRACTAIS CLÁSSICOS

“Todas as culturas foram iluminadas pela Geometria, cujas formas despertam no espírito um sentimento de exatidão e de evidência absoluta”

Nadir Afonso (1920 - 2013)

3.1. Poeira de Cantor

Georg Cantor (1845-1918) publicou em 1883 um trabalho no qual é construído um conjunto que ficou conhecido por “Poeira de Cantor”. É o primeiro objeto conhecido como fractal. Este conjunto é criado através da fragmentação do intervalo $[0,1]$, algumas décadas antes do aparecimento da geometria fractal.

Cantor foi um matemático alemão de origem russa, docente na Universidade de Halle-Wittenberg, na cidade alemã de Halle, onde desenvolveu a Teoria dos Conjuntos. A Teoria dos Conjuntos é uma das mais notáveis inovações matemáticas dos últimos séculos. Ao distinguir números algébricos e números irracionais, encontrou a maneira de comparar o tamanho de conjuntos infinitos, mostrando que o conjunto de todos os números é maior do que o conjunto dos números algébricos. Encarar totalidades, e não objetos individuais (números, pontos ou funções), foi uma das inovações de Cantor, revelando que as totalidades possuem propriedades que não são partilhadas pelos objetos dessas totalidades.

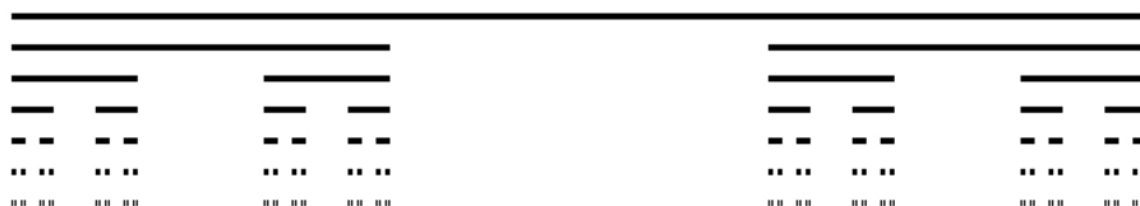


Figura 13 - Conjunto conhecido por Poeira de Cantor

Este conjunto constrói-se, começando por representar um segmento de reta unitário, que dividimos em três partes iguais à qual retiramos a parte central, ficando assim dois segmentos de tamanho $\frac{1}{3}$. A cada um dos segmentos remanescentes retiramos o terço central, deixando assim 4 segmentos de tamanho $\frac{1^2}{3}$ até ao infinito. Assim, $L = 1$, $N = 2$ e $u = 1/3$ podendo concluir-se que a dimensão fractal é:

$$D = \frac{\log 2}{\log 3} \approx 0.6309 \dots \quad (5)$$

Apesar de em cada passo deixarmos mais do que tiramos o que vamos obter é uma “poeira” de pontos quase invisíveis. Este conjunto é infinito, mas o seu comprimento total é zero. As iterações tornam visíveis algumas características dos fractais, entre as quais, a mesma dimensão em qualquer escala e complexidade.

3.2. Triângulo e tapete de Sierpinski

Waclaw Sierpinski (1882-1969) foi um matemático polaco. Frequentou a escola em Varsóvia, onde o seu talento para a matemática foi rapidamente descoberto pelo seu professor. Com a invasão da Polónia pela Rússia, Sierpinski passou um mau momento. Os russos forçaram a implementação da sua língua e cultura sobre os polacos e efetuaram mudanças radicais em todas as escolas secundárias. O objetivo da Rússia era manter o analfabetismo na Polónia o mais alto possível, para que os alunos desanimados na aprendizagem abandonassem a escola.

O triângulo de Sierpinski inicia-se com um triângulo equilátero que é dividido em 4 partes autossimilares formadas a partir do ponto médio de cada lado, retirando-se em seguida o triângulo central. Repete-se a operação com cada um dos triângulos restantes até ao infinito. A recursão consiste em repetir seguidamente o procedimento anterior em relação a cada um dos triângulos obtidos. As partes da figura são cópias reduzidas de toda a figura e o resultado é um objeto fractal autossimilar.



Figura 14 - Triângulo de Sierpinski

Desta forma, por cada iteração obtemos três partes através da divisão de cada lado do triângulo em duas. Neste objeto fractal o todo deriva em três partes através de uma razão de semelhança de $\frac{1}{2}$, logo temos:

- a razão de semelhança é $\frac{1}{2}$;
- o número de partes obtidas é 3.

pelo que a dimensão fractal do triângulo de Sierpinski é:

$$D = \frac{\log 3}{\log 2} \approx 1,5849 \dots \quad (6)$$

Outro exemplo curioso de um fractal com propriedades estranhas é o tapete de Sierpinski. Neste caso divide-se um quadrado em 9 partes iguais e retira-se o quadrado central. Repete-se a operação em cada um dos 8 quadrados restantes até ao infinito. Torna-se uma figura com área nula e perímetro total infinito. O tapete de Sierpinski possui uma dimensão fractal de $D = 1,89 \dots$ que está próxima da segunda dimensão.

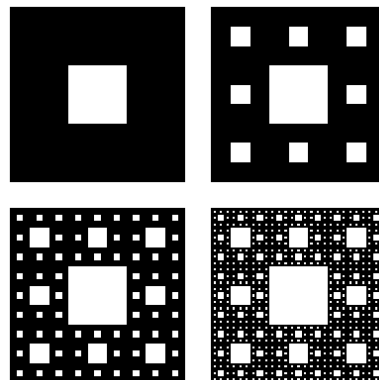


Figura 15 - Tapete de Sierpinski

3.3. Curva e floco de neve de Koch

Niels Fabian Helge von Koch (1870-1924) foi um matemático sueco, que deu o seu nome ao famoso fractal conhecido como o "floco de neve de Koch", tendo sido um dos primeiros fractais de curvas a ser descrito. O floco de neve de Koch é um exemplo do que se pode chamar de fractal ordenado pois as regras da sua construção são precisas e repetitivas. Estes fractais ordenados possuem a propriedade em que qualquer parte da curva continua a parecer exatamente a mesma independentemente da ampliação utilizada.

A construção da curva de Koch é iniciada com uma linha que é dividida em três partes iguais. O segmento central é substituído por um triângulo equilátero sem a base. Em seguida o processo é repetido seguindo a mesma lógica, ou seja, dividindo cada segmento em três partes iguais. O exemplo da figura seguinte mostra mais detalhes conforme se vai repetindo o processo.

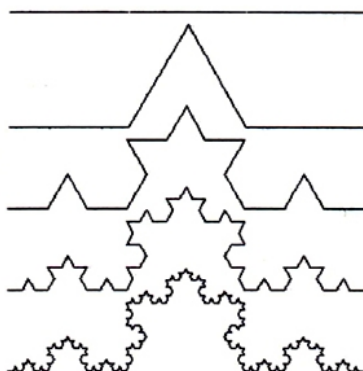


Figura 16 - Curva de Koch

Esta curva continuada até ao limite infinitamente quebrado. Explorada pela primeira vez por Koch em 1904 como exemplo de uma curva contínua de comprimento infinito cujas propriedades não podiam ser descritas pela matemática na época.

A curva de Koch é uma “linha” que podemos considerar como tendo dimensão infinita, mas está numa região finita do plano. À medida que se vão fazendo transformações o número de lados da curva aumenta, mas o comprimento de cada lado diminui.

Para calcular a dimensão da curva de Koch: a cada geração substituímos um segmento por N segmentos de tamanho l .

$$D = \frac{\log N}{\log\left(\frac{1}{l}\right)} \quad (7)$$

em que:

$$\frac{1}{l} = \frac{1}{1/3} = 3 \quad (8)$$

desta forma a dimensão fractal é:

$$D = \frac{\log 4}{\log 3} \approx 1,261 \dots \quad (9)$$

Também o “flocos de neve” de Koch é uma forma fractal clássica e simples de ser entendida. Para construir o floco de neve de Koch usa-se o seguinte processo recursivo na sua construção: partindo de um triângulo equilátero divide-se cada lado em três segmentos. Os segmentos intermediários são então substituídos por dois segmentos semelhantes que vêm a formar os lados de um triângulo equilátero sem a base. O resultado é uma figura com forma de estrela (com 12 lados e seis pontas). Realizando o processo anterior, em cada um dos lados obtém-se uma figura em constante evolução que é semelhante a um floco de neve, sendo uma variação da curva de Koch.

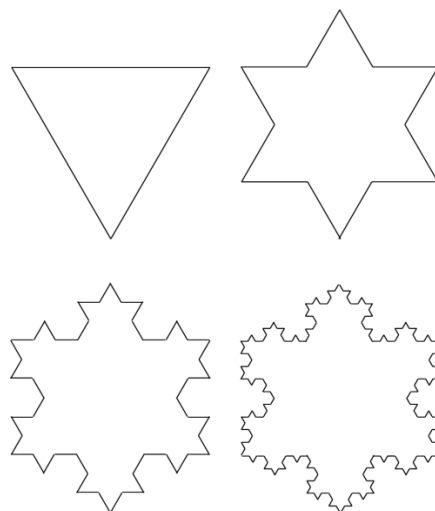


Figura 17 - Floco de neve de Koch

A autossimilaridade é uma característica interessante que podemos observar neste conjunto. É a simetria através das escalas, entre o grande e o pequeno, o que implica a existência de recorrência, padrão no interior de padrão.

Tabela 1. Progressão geométrica do floco de neve de Koch

Figuras		Número de lados		
Figura de partida		3	=	3×4^0
1	3x4	=	12	= 3×4^1
2	12x4	=	48	= 3×4^2
3	48x4	=	192	= 3×4^3
4	192x4	=	768	= 3×4^4
5	768x4	=	3072	= 3×4^5
...

No processo de construção percebe-se facilmente que à medida que se fazem as progressões geométricas o número de lados da curva aumenta, mas o comprimento dos lados diminui. O número de lados é dado em função do número de transformações na progressão geométrica $L_n = 3 \cdot 4^n$

3.4. Curva de Peano

Giuseppe Peano (1858-1932) foi um matemático italiano que desenvolveu teorias na área da análise matemática, lógica, teoria dos conjuntos, equações diferenciais e análise vetorial.

A curva de Peano surgiu em 1890. É construída por um processo análogo ao de curva de Koch, ou seja, por iteração gráfica. O processo de construção da curva de Peano é feito através da partição recursiva do espaço. O esquema de partição recursivo do espaço, via curvas de Peano-Hilbert, garante uma enumeração univocamente ordenada sem

privilegiar uma direção, minimizando o aparecimento de artefactos devido aos erros de quantização de representação.

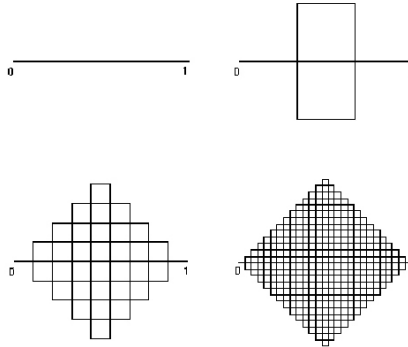


Figura 18 – Curva de Peano

A curva de Peano inicia-se com a construção de um segmento de reta. De seguida substitui-se o segmento por uma curva de nove segmentos em escala de $1/3$. Substitui-se cada segmento anterior pela curva de nove segmentos, sucessivamente. A curva vai preenchendo uma região quadrada, cuja diagonal dada pelo segmento inicial é um.

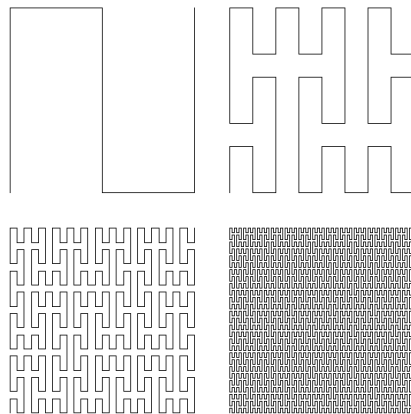


Figura 19 – Outra curva de Peano

Na curva de Peano-Hilbert, inicialmente considera-se um quadrado unitário. Do quadrado retira-se a sua base. De seguida substitui-se cada segmento (lado do quadrado) por 4 quadrados novos, iguais a curva inicial, juntando cada novo quadrado por um vetor na mesma ordem do anterior. A disposição dos quadrados deve ser seguida para cada nova

iteração. Da mesma forma, substitui-se cada segmento por quatro quadrados novos idênticos ao primeiro.

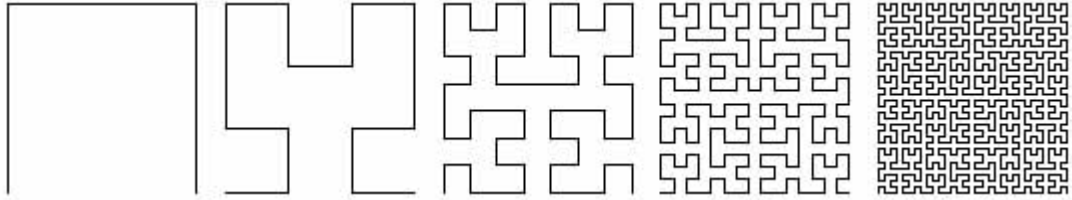


Figura 20 - Curva de Peano-Hilbert

A curva quando continuada até à fragmentação infinita dos segmentos vai encher por completo a área do quadrado original. Mas está de acordo com a definição de dimensão fractal proposta por Mandelbrot? Nas primeiras fases do processo de construção o comprimento do bordo diminui por um fator de três em cada etapa, enquanto o perímetro aumenta na mesma proporção:

$$\frac{P_{n+1}}{P_n} = 3 \quad (10)$$

e

$$\frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{1}{3} \quad (11)$$

na equação de Mandelbrot somos conduzidos à relação numérica:

$$3 = \left(\frac{1}{3}\right)^{1-D} \quad (12)$$

onde se pode concluir que a dimensão $D=2$.

3.5. Esponja de Menger

Karl Menger (1902-1985) foi um matemático americano de origem austríaca, que apresentou uma versão tridimensional do tapete de Sierpinski. O fractal com o nome de esponja de Menger é formada dividindo um cubo regular em 27 pequenos cubos autossimilares. De seguida retiram-se 7 cubos: os que ocupam a posição central de cada

lado e o cubo central da estrutura. À medida que se repete o processo com os cubos restantes, dependendo do número de iterações, vai assemelhar-se a um material poroso parecido com uma esponja.

A dimensão fractal da esponja de Menger $D = 2,73 \dots$, muito próximo da terceira dimensão.

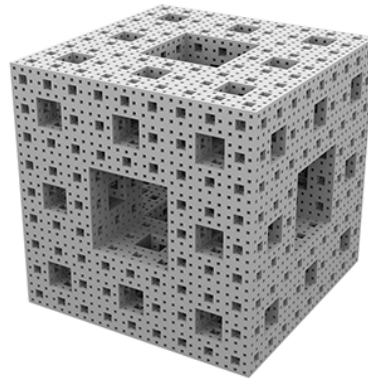


Figura 21 - Esponja de Menger

Verifica-se que a esponja de Menger é um fractal tridimensional obtido a partir de um cubo, onde sistematicamente são retirados outros cubos de modo análogo ao que é feito na construção do triângulo e tapete de Sierpinski.

3.6. Conjunto de Julia

Os matemáticos franceses Gaston Maurice Julia (1893-1978)²⁷ e Pierre Joseph Louis Fatou (1878-1929)²⁸ em 1905 estudavam a dinâmica de funções racionais da esfera de Riemann (1826-1866)²⁹ por processos iterativos não lineares envolvendo números complexos, o que levou Julia em 1918 a apresentar um trabalho acerca das coleções de pontos gerados em tais sistemas. Na época existiam dificuldades em representar esses

²⁷ Gaston Maurice Julia (1893-1978) foi um matemático francês que publicou um livro sobre a iteração de funções racionais em 1918. Teve uma grande importância no estudo dos primeiros fractais no início do século XX. Exerceu funções na Escola Politécnica de Paris, tendo sido professor de Mandelbrot.

²⁸ Pierre Joseph Louis Fatou (1878-1929) tem várias contribuições em astronomia e matemática.

²⁹ Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826 - 1866) foi um matemático alemão, com contribuições fundamentais para a análise e geometria diferencial, permitindo o posterior desenvolvimento da relatividade geral.

conjuntos graficamente, porque os esboços eram feitos à mão. Estes tipos de fractais são agora chamados de conjuntos de Julia.



Figura 22 - Gaston Julia (1893-1978)



Figura 23 - Louis Fatou (1878-1929)

Este conjunto de Julia consiste num objeto matemático obtido através de repetidas iterações aplicadas a equações polinomiais. Este conjunto está relacionado com o conjunto de Mandelbrot, sendo a mesma equação usada na construção de ambos os conjuntos. Ambos propuseram uma equação bastante simples:

$$z_{n+1} = z_n^2 + c \quad (13)$$

O conjunto de Julia é formado pelos números complexos que não divergem quando n aumenta indefinidamente. Assim, existem infinitos conjuntos de Julia, ou seja, um para cada valor de c , havendo ainda conjuntos de Julia que não correspondem a objetos de dimensão fractal. Estes conjuntos identificam-se ainda em duas espécies: os conexos e os desconexos.

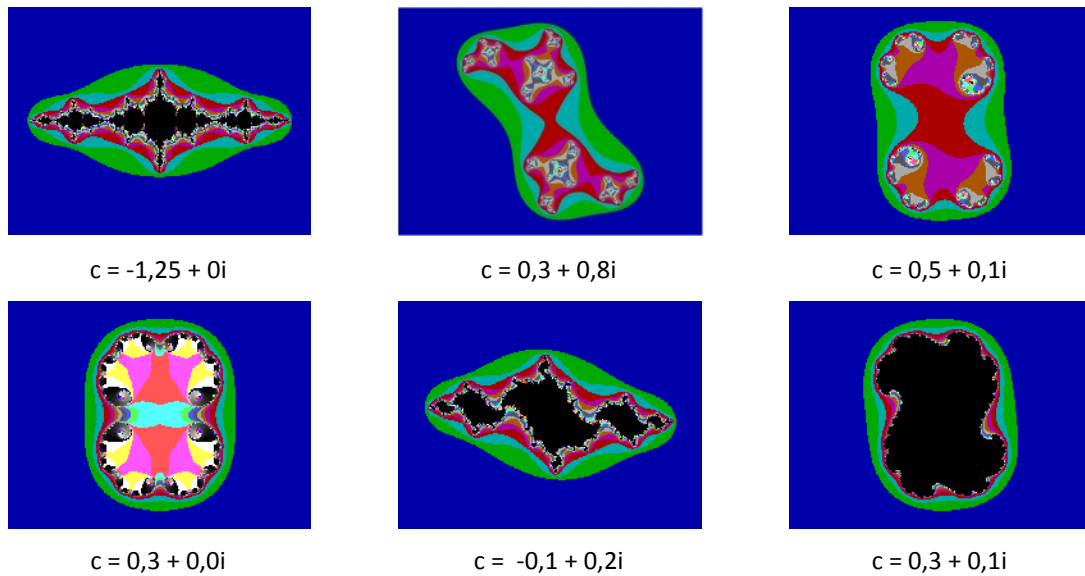


Figura 24 – Diversos conjuntos de Julia obtidos com o programa *Fractint*

Se a órbita de z_0 é atraída para o infinito (ponto de escape), então z_0 não pertence a nenhum conjunto de Julia. Se a órbita de z_0 é atraída para um círculo em torno da origem (ponto prisioneiro), então z_0 pertence a algum conjunto de Julia. Se o ponto c escolhido pertencer ao interior do conjunto de Mandelbrot, o conjunto de Julia será conexo. Se o ponto c não pertencer ao conjunto de Mandelbrot o conjunto de Julia é desconexo.

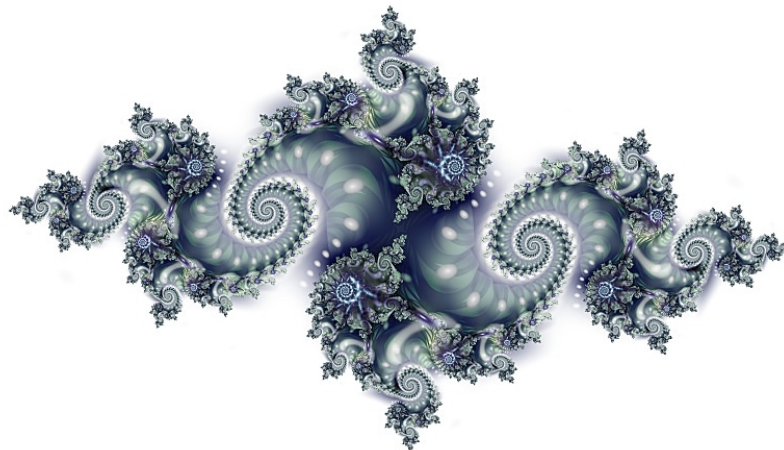


Figura 25 - Conjunto de Julia³⁰

³⁰ Fonte: <http://www.drngen.com.ar>

Nestes conjuntos, uma pequena alteração do valor redefine completamente o fractal produzido. Esta é uma característica inerente a um sistema dinâmico caótico.

Enquanto os números complexos são uma extensão dos números reais pela adição da unidade imaginária i , os quaterniões são uma extensão gerada de maneira análoga acrescentando as unidades imaginárias i , j e k aos números complexos hiperbólicos de modo que: $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$.



Figura 26 – Quaternião de um conjunto Julia

A principal diferença entre um conjunto Julia e um quaternião do mesmo conjunto é que o conjunto Julia está contido num espaço bidimensional enquanto o quaternião é uma extensão dos números complexos hiperbólicos representados por um sistema de coordenadas cartesianas no espaço quadridimensional.

3.7. Conjunto de Mandelbrot

O conjunto de Mandelbrot é obtido quando se submetem números complexos a um processo iterativo. Ao aplicar este processo repetidamente obtemos uma sequência de números cuja distância ao $z_0 = 0$ mantém-se finita ou tende para o infinito. É a fronteira entre o finito e infinito que delimita o conjunto de Mandelbrot.

Quanto Mandelbrot explorava iterações de funções com raízes quadráticas percebeu que podia criar uma imagem no plano complexo e a possibilidade de usar os fractais para resolver alguns problemas complexos da matemática, dando-lhes uma forma geométrica. Apesar de saber que a simplicidade gera a complexidade, “não compreendeu

de imediato quão extraordinário era o objeto pairando em frente aos seus olhos...” (GLEICK, 1989, p. 279). O conjunto de Mandelbrot é formado pelos pontos c do plano complexo, em que $z_{n+1} = z_n^2 + c$ converge quando o número de iterações n cresce infinitamente com $z_0 = 0$. Na construção do conjunto de Mandelbrot utiliza-se uma equação aparentemente simples que é resolvida por iteração. Um processo que hoje é facilmente realizado em computadores que conseguem processar a informação necessária à produção de belas imagens fractais.

A equação que Mandelbrot utilizou,

$$\frac{P_{n+1}}{P_n} = \left(\frac{L_{n+1}}{L_n} \right)^{1-D} \quad (14)$$

em que L representa o comprimento do bordo de um determinado fractal, P o perímetro e n a iteração correspondente.

A propriedade de autossimilaridade do conjunto de Mandelbrot pode ser verificada expandindo algumas áreas das figuras. Nota-se que aparece uma estrutura semelhante à que foi ampliada. Esta repetição prossegue até *ad infinitum*³¹ em várias regiões da figura. Ampliando o conjunto de Mandelbrot sucessivamente irão aparecer, “(...) de modo inesperado, bem no interior de uma região emaranhada, (...) uma forma achatada familiar, guarnecida com botões floridos: o conjunto de Mandelbrot, com todos os seus ramos e átomos no lugar. Era um outro indicador de universalidade. Talvez devêssemos acreditar em magias” (Gleick, 1989, p. 296). Conforme se foi aperfeiçoando o estudo do conjunto de Mandelbrot verifica-se que cada incursão mais profunda na figura vai revelando novas surpresas. A beleza do conjunto de Mandelbrot deve-se, em parte, às cores atribuída aos pontos “fugitivos”.

Para construir o conjunto de Mandelbrot iteramos a função $z_{n+1} = z_n^2 + c$ (onde z_n e c são números complexos) para cada ponto c do plano complexo começando com $z_0 = 0$.

³¹ *Ad infinitum* é uma expressão de origem latina que significa literalmente "até o infinito". Designa situações ou processos que se perpetuam para sempre, ilimitadamente e indefinidamente.

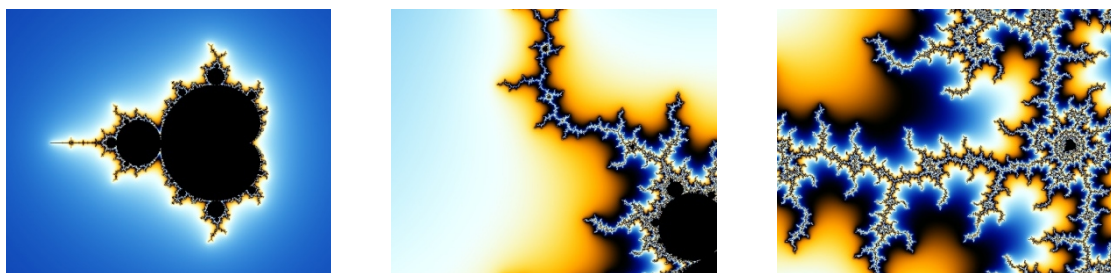


Figura 27 - Conjunto de Mandelbrot obtido com o programa *Ultra Fractal*³²

Um dos objetos mais complexos da matemática é certamente o conjunto de Mandelbrot. Nunca é possível vê-lo todo, por mais que o conseguíssemos analisar. Seria necessário uma quantidade de informação quase infinita para fazer uma descrição numérica do seu contorno ou catalogar as diferentes imagens do interior. O conjunto apresenta uma complexidade ao longo das variadíssimas escalas, por esse motivo, tornou-se uma espécie de emblema do caos. Para Gleick (1989, p. 279), “Podem ser formadas muitas formas fractais por processos iterativos no plano complexo, mas existe apenas um conjunto de Mandelbrot”. Gleick acaba por designar o conjunto de Mandelbrot de, “o mais completo objeto da Matemática”.

Já Capra (2006) propõe-se destacar as variedades de padrões e a riqueza destes conjuntos, muitos dos quais até podem ser descritos como remissivos de elementos da natureza, como caudas de cavalo-marinho, arbustos cheios de espinhos ou faíscas que flutuam no ar. Para Capra, Mandelbrot no final da década de 1970 tentou classificar a imensa variedade de conjuntos de Julia, tendo descoberto:

(...) uma maneira simples de criar, no plano complexo, uma imagem única que servisse de catálogo de todos os possíveis conjuntos de Julia. Essa imagem que desde essa época tornou-se o principal símbolo visual desta nova matemática da complexidade é o conjunto de Mandelbrot. (...) Embora haja um número infinito de conjuntos de Julia, o conjunto de Mandelbrot é único. Essa estranha figura é o objeto matemático mais complexo já inventado (CAPRA, 2006, p.125).

³² Disponível em: <http://www.ultrafractal.com/>

Mandelbrot compreendeu que todas essas formas geométricas tinham algumas características comuns bastante notáveis, e criou um novo tipo de matemática para descrever e analisar essas características. Conseguiu unir todas as ideias fragmentadas e criar uma grande ideia que deu origem à teoria dos fractais. A utilização de computadores foi um avanço importante nas simulações, podendo-se afirmar que foi a chave em todos os seus estudos.

Apesar de Roger Penrose³³ sugerir que o conjunto de Mandelbrot não é recursivo verificou que as regiões mais evidentes do conjunto podem ser definidas através de um processo algorítmico. Salienta ainda que as regiões que os algoritmos não conseguem atingir poderão ser muito delicadas e difíceis de encontrar. À medida que vão sendo encontradas, os algoritmos podem ser melhorados e aplicados nestas regiões. No entanto, podem existir outras regiões de maior complexidade que os algoritmos melhorados não conseguem atingir. Isto significa que podem existir sempre regiões que não são abrangidas pelos algoritmos (PENROSE, 1999, p.168).

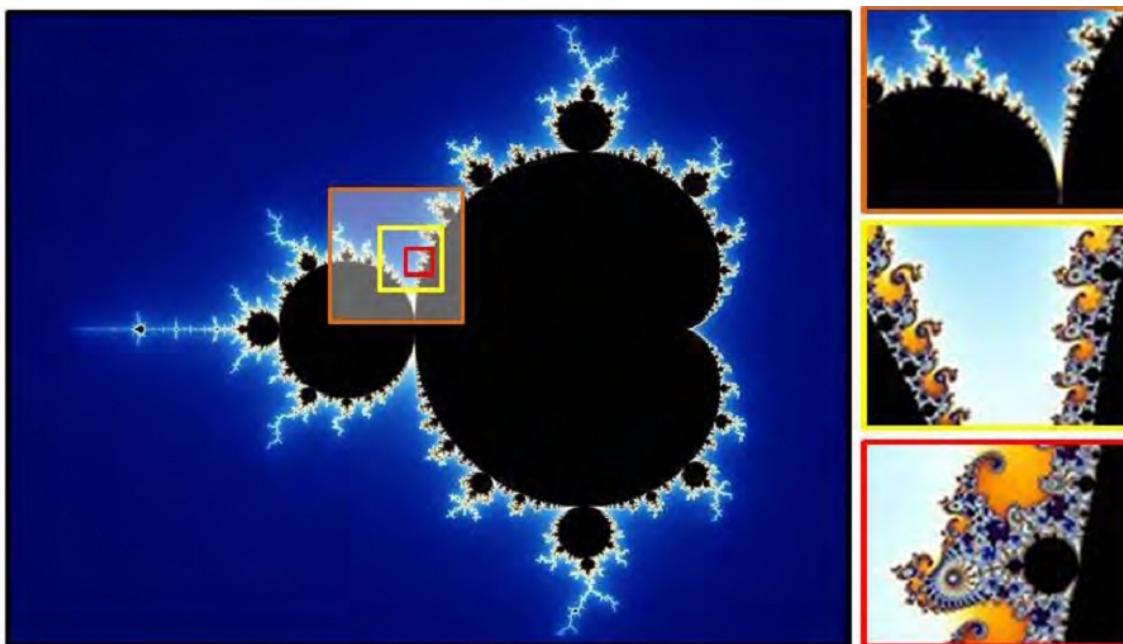


Figura 28 - Conjunto de Mandelbrot (Fonte: CAPRA, 2006)

³³ Roger Penrose (1931-), é um físico e matemático inglês, professor emérito de matemática da Universidade de Oxford. É reconhecido pelo seu trabalho em física e matemática, em particular pelas suas contribuições na relatividade geral e cosmologia.

Conjuntos de Mandelbrot são utilizados em aplicações como *benchmarks*³⁴, criptografia, codificação e decodificação de áudio e vídeo, entre muitas outras.

³⁴ *Benchmarks*, é um conjunto de programas ou operações, com a finalidade de avaliar a performance relativa de um objeto, normalmente executando uma série de testes padrões e ensaios.

4. SISTEMAS DINÂMICOS E A ARTE

“O caos é uma ordem mascarada pela desordem”

Edward Lorenz (1917 - 2008)

Uma lei básica da Teoria do Caos afirma que a evolução de um sistema dinâmico depende crucialmente das condições iniciais. O sistema ao ser analisado sob outras condições iniciais, assumirá diferentes condições. Quando nos referimos a sistemas dinâmicos não nos referimos apenas à complexidade do sistema mas também a complexidade dos elementos, ou seja, o meio onde se “passeiam” uma pluralidade de variáveis.

A Teoria do Caos é um estudo qualitativo do comportamento instável em sistemas dinâmicos não lineares determinísticos. Faz parte da teoria dos sistemas dinâmicos com forte fundamentação matemática, sendo aplicados em física, ciências, economia e arte digital.

Antes de mais convém descrever alguns dos conceitos na Teoria do Caos e a sua aplicabilidade na arte digital. Estes conceitos podem proporcionar alguma ajuda na explicação dos sistemas caóticos fractais sabendo que a aparente imprevisibilidade constitui a sua verdadeira natureza.

4.1. Introdução à Teoria do Caos

Desde o início que o estudo dos fractais esteve ligado à Teoria do Caos. Na mitologia grega, o Caos significava um estado não organizado, um “vazio” ou até “nada”. Mais recentemente o termo Caos tomou-se sinónimo de “desordem”.

O Caos não é uma invenção que surgiu da mente de alguns pesquisadores. Surgiu de problemas concretos, tais como: descrição de turbulências, necessidade da previsão do

tempo ou o estudo do comportamento do ser humano. O caos significa desordem, contudo, existe uma ordem por detrás de qualquer desordem.

A Teoria do Caos busca no aparente acaso uma ordem intrínseca determinada por leis precisas. Além do clima, outros processos aparentemente casuais apresentam certa ordem, como por exemplo: as ondas do mar, o crescimento populacional, arritmias cardíacas, flutuação do mercado financeiro, entre outros.

Antes da existência da Teoria do Caos, o mundo determinístico era visto como uma “(..) intrincada máquina relojoeira. Se soubéssemos o suficiente acerca da maneira como a máquina se ajusta, poderíamos em princípio dizer o que se iria passar desde agora até ao fim do mundo” (STEWART, 1991, p.186).

No início do século passado, Poincaré foi o primeiro a compreender a possibilidade do caos, tendo afirmado: “Pode acontecer que pequenas diferenças nas condições iniciais deem origem a outras muito grandes nos fenómenos finais. Um pequeno erro no anterior irá provocar um enorme erro no posterior. A previsão torna-se impossível” (POINCARÉ, 1903). Esta alerta não foi tido em conta pela maior parte dos cientistas.

Poincaré também constatou a possibilidade de movimentos erráticos num sistema, com pequeno número de graus de liberdade, onde:

Uma causa muito pequena que escapa à nossa atenção provoca um efeito considerável que não podemos deixar de observar, e dizemos então que o efeito se deve ao acaso. Se conhecêssemos exatamente as leis da Natureza, e a situação do Universo no momento inicial, poderíamos prever exatamente qual a situação desse mesmo Universo num instante posterior. Mas mesmo se acontecesse que as leis naturais deixassem de ter segredos para nós, poderíamos, mesmo então conhecer a situação, apenas de modo aproximado. Se isso nos permitisse prever a situação seguinte com a mesma aproximação, o que é tudo o que precisamos, diriam que o fenómeno tinha sido previsto, que é controlado pelas leis conhecidas (POINCARÉ, 1903).

De facto, quando se lê o texto de Poincaré ficamos com a impressão que já sabia do que se tratava.

Ao consultarmos Gleick deparamo-nos com Edward Lorenz, um pesquisador do MIT, que se dedicava à previsão do tempo em meteorologia. As suas investigações passavam por estudar as configurações que se formam na atmosfera, como redemoinhos e ciclones.

À época, ele relata: para a maioria dos meteorologistas sérios, a previsão não chegava a ser uma ciência. Era uma coisa mais instintiva ou prática, feita por técnicos que precisavam de certa capacidade intuitiva para ler o tempo do dia seguinte nos instrumentos e nas nuvens. Era uma adivinhação. Em centros como o MIT a meteorologia preferia os problemas que tinham solução (GLEICK, 1989, p.11).

Os objetos de estudo da Teoria do Caos traduzem-se em modelos matemáticos cujas representações gráficas não são simples retas e os comportamentos não são de fácil previsão.

Teoria do Caos é um ramo matemático que se ocupa dos sistemas que apresentam um comportamento imprevisível e aparentemente aleatório, embora sejam regidos por leis estritamente deterministas, e que se deve ao facto de as equações não lineares que regem a evolução desses sistemas serem extremamente sensíveis a variações em suas condições iniciais, assim, uma pequena alteração no valor de um parâmetro pode gerar grandes mudanças no estado do sistema à medida que este tem uma evolução temporal (FARIAS, 2003, p. 9).

A Teoria do Caos tornou-se cada vez mais ampla trazendo novas discussões sobre as relações de causa e efeito que regem o universo. Estes estudos, nos quais se engloba a geometria fractal revelam uma subtil ordem das relações onde até então só havia o Caos.

O ponto nevrálgico desta teoria é a sensibilidade às condições iniciais: em que uma pequena variação inicial pode ter grandes consequências. Daí resulta quase sempre a incapacidade de prever com precisão futuros eventos. Para Prigogine, o acaso era fruto da ignorância que seria eliminado progressivamente com o avanço do conhecimento.

Alguns pensadores como Platão, Aristóteles, Euclides, Pitágoras, entre outros organizaram esse caos insistindo na estabilidade e equilíbrio da Natureza. A ciência clássica assim regida por leis determinísticas era capaz de determinar os fenômenos naturais que podiam ser previstos sempre, onde o passado e o futuro representam o mesmo papel, tornando-se a ciência da certeza e acreditando que a suprema glória da razão humana está ligada à possibilidade de atingir essa certeza (PRIGOGINE)³⁵.

Com os estudos sobre a dinâmica dos sistemas não lineares, a Teoria do Caos mudou profundamente a maneira de encararmos os fenômenos naturais.

Para Gleick, “O Caos tornou-se não só uma teoria como um método; não só um coro de crenças como um modo de fazer ciência. O Caos criou a sua própria técnica de usar os computadores” (GLEICK, 1989, p.65), criando “(...) a sua própria linguagem que usa elegantemente termos como *fractais* e *bifurcações*, *intermitências* e *periodicidades*, *difeomorfismos* e *mapas de intervalo*” (GLEICK, 1989, p.27).

4.1.1. Caos

Existem duas maneiras distintas de encarar o universo. Uma é a determinista que considera que se num determinado momento conseguíssemos abarcar a posição e velocidade de todas as partículas do universo poderíamos prever o que se iria passar nos instantes seguintes. A outra, apoiando-se na teoria quântica afirma existir obrigatoriamente a incerteza dando lugar à existência de fenômenos aleatórios e imprevisíveis.

A investigação do Caos teve início nos anos 60 do século passado quando foi descoberto que sistemas complexos poderiam ser usados para descrever as previsões do tempo. Sobre a ordem e Caos, Palazzo escreve o seguinte:

O termo complexidade é por vezes também tomado como um sinónimo de desordem ou caos. Entretanto, somente a noção de desordem não é suficiente para definir complexidade. É necessário também entender o conceito de ordem.

³⁵ Ilya Prigogine (1917 - 2003) foi um químico russo naturalizado belga. Recebeu o Nobel de Química de 1977, pelos seus estudos em termodinâmica de processos irreversíveis com a formulação da teoria das estruturas dissipativas.

Exemplos simples de ordem são estruturas simétricas (p.ex: reticulados cristalinos). A simetria é definida matematicamente como a invariância sob um conjunto de operações ou transformações (não necessariamente um grupo). A principal característica de um sistema ordenado é a sua previsibilidade (espacial ou temporal). Não é necessário conhecer o sistema como um todo para reconstruí-lo ou prever sua estrutura: o sistema é redundante (PALAZZO, 2013).

Antecedendo o termo fractal, a palavra Caos³⁶ já estava presente na linguagem do quotidiano. Intuitivamente entende-se caos como uma desordem incompreensível, algo intangível. A palavra foi ao longo destes anos a expressão que mais atenção popular atraiu. Transmite a ideia da desordem, da total aleatoriedade, conforme explicam David Parker e Ralf Stacey:

O caos é uma intrincada mistura de ordem e desordem, regularidade e irregularidade: padrões de comportamento que são irregulares, porém classificáveis em amplas categorias, ou arquétipos, dentro dos quais se verifica uma infinita variedade individual. Basta olhar as nuvens por pouco tempo para entender o que os cientistas querem dizer com comportamento caótico (PARKER; STACEY, 1995, p.12).

Os fractais são padrões organizadores do caos aparente, pois permitem estabelecer uma ordem na aparente desordem. O universo dos fractais proporciona uma nova e rica área interdisciplinar e uma maneira diferente de perceber a natureza. De uma forma genérica, os fractais podem ser compreendidos como um “intervalo” onde o Caos é compreendido e analisado.

4.1.2. Sistemas não lineares

Edward Lorenz era um matemático e meteorologista que trabalhava no MIT interessado na previsão do tempo. Construiu um modelo matemático do tempo, definido

³⁶ Caos, a palavra Caos corresponde à palavra grega *kháos*, que significa abismo, *in*: Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consult. 2013-05-02]. Disponível na *www*: <URL: <http://www.infopedia.pt/pesquisa-global/Caos>>.

por um conjunto de 12 equações diferenciais que representavam mudanças de velocidade, temperatura, vento, pressão e outros elementos. Lorenz tentava prever os fenômenos meteorológicos.

No campus do MIT, o computador Lorenz passava os dias a reproduzir eventos climáticos imaginários. A cada minuto, que correspondia a um dia, o computador processava uma série de números estranhos. Eram códigos que exprimiam condições meteorológicas, como mudanças de temperatura e regime de ventos. Para Lorenz, que era um apaixonado pela Matemática e pela Meteorologia, o aparecimento dos primeiros computadores foram a realização de um antigo sonho. Só a máquina poderia explorar a afirmação Newtoniana de que o mundo era constituído e se alterava de maneira determinista.

No princípio o sistema de equações de Lorenz era composto por doze equações que foram simplificadas posteriormente para três. Em 1961, Lorenz descobriu que o seu modelo apresentava um fenômeno conhecido como "dependência sensível das condições iniciais". Este fenômeno ficou conhecido como o "efeito borboleta", em que pequenas alterações iniciais podem provocar comportamentos muito diversos com o passar do tempo.

Os resultados obtidos por Lorenz devido ao arredondamento das equações em três casas decimais divergiram drasticamente. Isso levou Lorenz à pergunta: porque é que um conjunto de equações completamente determinísticas apresenta esse comportamento? Seria devido à natureza das próprias equações não lineares? Mais tarde Lorenz pretendeu rever uma sequência com 6 casas decimais. A evolução foi completamente diferente da original com 3 casas decimais.

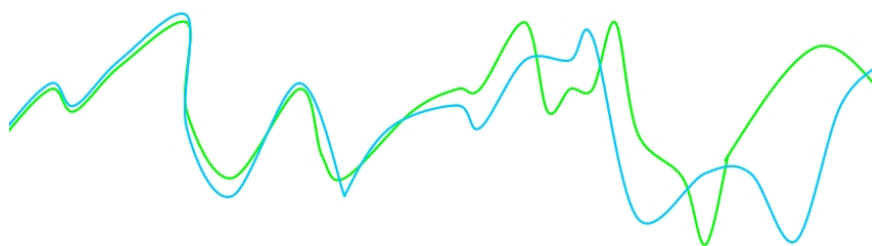


Figura 29 - Ao mudar a precisão Lorenz terá obtido uma figura semelhante a esta

Sistemas de equações não lineares são fundamentais para a Teoria do Caos e muitas vezes apresentam um comportamento complexo e caótico. Lorenz relatou a sua descoberta num artigo publicado em 1963, que veio a ter grande influência sobre muitos estudos subsequentes relacionados com o tema. Ainda hoje o seu trabalho é importante porque tinha uma visão sobre a essência do caos tendo-se estabelecido como a Teoria do Caos que hoje conhecemos. Mais tarde, Lorenz decidiu olhar para o comportamento complexo de um conjunto ainda mais simples de equações.

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= x(\rho - z) - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \beta z\end{aligned}\tag{15}$$

Simplificou as equações da dinâmica de fluidos (chamadas equações de Navier-Stokes) e terminou com um conjunto de três equações não lineares: em que σ corresponde ao número de *Prandtl*, que representa a razão entre a viscosidade do fluido e a sua condutividade térmica, ρ é o número de *Rayleigh*, representa a diferença de temperatura entre a parte superior e parte inferior do sistema, e β é o rácio entre a largura e a altura da caixa utilizada para gerar o sistema. Normalmente $\sigma, \rho, \beta > 0$, mas usualmente $\sigma = 10$, $\beta = 8/3$ e ρ varia. O sistema apresenta um comportamento caótico para $\rho = 28$, mas exibe órbitas atadas periódicas para outros valores de ρ . Embora as equações pareçam bastante simples, são equações não lineares. Os produtos dependem das xz e xy e geralmente é impossível uma solução analítica, representando um sistema dinâmico extremamente complexo.

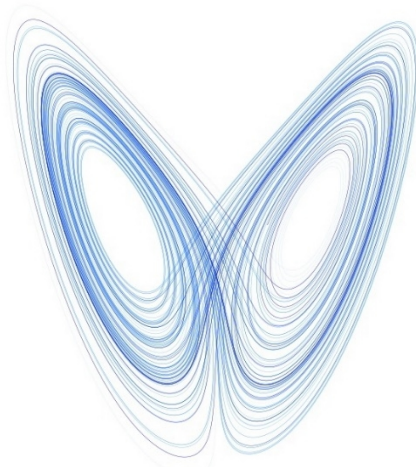


Figura 30 - Atrator de Lorenz para valores $r = 28, \sigma = 10, b = 8/3$

Paralelamente, outros estudiosos também concluíram que existiam certos padrões de comportamento em sistemas que tendiam para o caos.

Ele havia reduzido o tempo atmosférico aos elementos essenciais. Não obstante, linha por linha, os ventos e as temperaturas dos resultados impressos pelo seu computador pareciam comportar-se de uma maneira terrena reconhecível. Eles correspondiam à sua querida intuição sobre o tempo, sua sensação de que ele se repetia, revelando padrões conhecidos, a pressão aumentando e caindo, as correntes de ar oscilando entre norte e sul. Descobriu que quando uma linha passava do alto para baixo sem um salto, ocorreria em seguida um salto duplo, e disse: “É esse o tipo de regra que um meteorologista pode usar”. Mas as repetições nunca eram perfeitamente iguais. Havia um padrão, com alterações. Uma desordem ordenada (GLEICK, 1989, p.13).

Lorenz usou um computador para traçar gráficos que representavam a maneira como os ventos se comportavam. Observou nos gráficos que os ciclos se repetiam, mas nunca eram precisamente iguais. Lorenz “chegou então à conclusão de que erros pequenos poderiam ser catastróficos num sistema específico. Era a dependência das condições iniciais, o próprio caos” (GLEICK, 1989). Na realidade, os fenômenos climáticos são de comportamento caótico e de difícil previsibilidade.

4.1.3. Atratores

Em 1963, quando Lorenz publicou as suas pesquisas não atraíram grande atenção. Os matemáticos e físicos da época já trabalhavam com dois tipos de atratores mais simples: “(...) pontos fixos e ciclos limite, representando comportamentos que atingem um estado estacionário ou que se repetem a si próprio continuamente” (GLEICK, 1989, p.178).

Um atrator pode ser um ponto ou uma curva fechada que descreve um sistema de comportamento periódico, ou um fractal quando o sistema apresenta Caos. Em sistemas caóticos o movimento não se repete.

Um sistema é complexo, não linear, quando o número de componentes interativos e a quantidade de energia inserida no sistema causam o aparecimento de atratores estranhos, que passam a funcionar como rotas para o sistema. Esse sistema renova-se em ciclos que são semelhantes, mas nunca são idênticos, ainda que restritos dentro dos limites dos atratores (PALAZZO, 2013). Somente uma figura infinitamente complexa pode dar esta trajetória que nunca se repete no espaço.

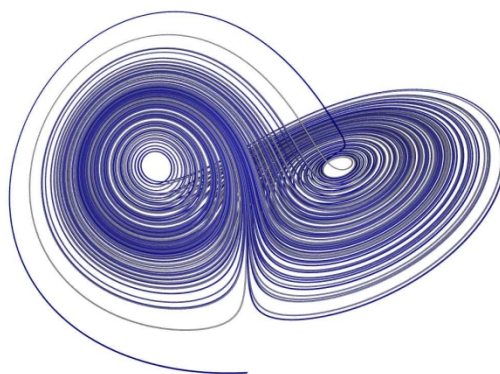


Figura 31 – Atrator com dupla espiral que faz lembrar as asas de uma borboleta

Tentando fazer uma analogia, pode tomar-se como exemplo uma multidão de pessoas. Ao observar as interações facilmente detetamos pessoas cujos comportamentos podem influenciar outras, positiva ou negativamente. Por existirem pessoas com maior capacidade de “chefia”, são elas que “ditam” e traçam uma tendência que provavelmente irá guiar o comportamento da maioria. Entretanto, essas pessoas podem manifestar

pequenas variações do tipo de comportamento determinando a renovação em ciclos semelhantes mas nunca iguais.

(...) o reconhecimento de atratores estranhos alimentou a revolução do caos ao dar aos exploradores numéricos um programa bem definido para realizar. Procuravam atratores estranhos em toda a parte sempre que a natureza parecia comportar-se ao acaso. Muitos argumentavam que ao tempo da Terra poderia associar-se um atrator estranho. Outros juntaram milhões de dados sobre o mercado bolsista e começaram aí a procurar um atrator estranho, emergindo através da lente ajustável dum computador (GLEICK, 1989, p. 200).

A partir da teoria de Mandelbrot e dos atratores de Lorenz criou-se uma grande curiosidade e interesse pelos fractais que impulsionaram muitos matemáticos a criarem fórmulas iterativas para a geração de belíssimas figuras. Entre os principais pesquisadores, pode citar-se Michael Barnsley, que em 1988 lançou um livro de referência: *Fractals Everywhere*.

4.2. Ciência, tecnologia e arte

Quase todas as expressões artísticas dependem das ferramentas empregues na sua execução e criação. Entre essas ferramentas encontram-se: pinceis, câmaras fotográficas, instrumentos musicais, martelo, cinzel, entre outras, que são necessárias às correspondentes criações artísticas. Da mesma forma, o computador deve ser considerado uma ferramenta em todo o processo de criação de arte digital. Só a ferramenta de produção de arte é alterada, substituindo as ferramentas pelo computador.

Podemos dizer que o computador é um mero instrumento para processar os cálculos necessários à criação de arte digital. Mas um computador nunca pode ser responsável por uma obra de arte sem intervenção da mente humana que supervisione todas as fases do processo.

A matemática por si só não combina os elementos necessários para criar uma imagem nem consegue avaliar o seu valor estético. Um computador não consegue avaliar

se uma imagem produzida entre milhares possui valor artístico. Contudo, o cérebro humano é excepcionalmente rápido e poderoso para conseguir reconhecer determinados padrões geométricos e determinar o valor estético das imagens produzidas. Nunca é demais referir que o conceito de beleza é uma característica intrinsecamente humana.

Da relação entre o homem, o instrumento criativo e a imagem técnica, surge o ambiente virtual. Segundo Lévy (1996) o ambiente virtual é tratado, não como um oposto ao real, mas sim como uma potencialização do ser humano. Junto com um conceito de tempo e espaço diferente a potencialização traz uma nova maneira de pensar e aprender. Os universos virtuais criados por este tipo de interação fazem-nos repensar o conceito de real.

Uma nova espécie de subjetividade surge desse ambiente híbrido e complexo com influências biológicas, técnicas, semióticas e políticas; onde antigas dicotomias não se aplicam mais, principalmente entre o humano e o não-humano.

A intervenção do artista, neste momento, torna-se mais do que nunca necessária no futuro de nossas relações com a técnica. A estética reuniria, então o que os discursos científicos muitas vezes insistem em separar. Ora, se a natureza da arte mudou, é porque os meios que produzem subjetividade hoje mudaram. O artista sabe muito bem que a tecnologia nada mais é que o devir-outro do humano. Ela não é uma simples extensão ou continuidade do indivíduo, mas sua virtualização, isto é, uma potencialização que o lança nesta região onde os limites do humano não-humano tornam-se indiscerníveis, onde o mais distante acaba por se tornar o mais próximo. Neste sentido, a estética é também virtualizante, pois imprime uma transcodificação permanente ao real. Ela é um processo de semiotização não-verbal que está plenamente presente na produção global (COSTA *in* DOMINGUES, 1997, p.65).

As imagens tradicionais ainda estão intimamente ligadas ao nosso mundo físico. Por exemplo, a fotografia é caracterizada pela captação de luz desviada pelos objetos do nosso mundo real e fixada numa superfície. O mesmo não ocorre com a imagem técnica. Segundo Flusser (2008) é criada a partir de pontos definidos pela linguagem mais abstrata que o homem desenvolveu.

As imagens tradicionais são superfícies abstraídas de volumes, enquanto as imagens técnicas são superfícies construídas com pontos. De maneira que, ao recorrermos a tais imagens, não estamos retornando da unidimensionalidade para a bidimensionalidade, mas nos precipitando da unidimensionalidade para o abismo da zero-dimensionalidade (FLUSSER, 2008, p.15).

Segundo Quéau *in* Parente (2008) há uma ligação entre as imagens técnicas, a linguagem verbal e a linguagem matemática. Tanto uma quanto outra empresta características específicas para a criação das imagens técnicas. Do caráter linguístico, as imagens técnicas herdaram a capacidade de criar uma representação sensível a partir de uma interação entre modelo e imagem. Da linguagem matemática, ou como trata o autor: da numerização, as imagens herdaram o seu caráter universal. A capacidade que as imagens técnicas têm de serem interpretadas pelos computadores em qualquer lugar do mundo, tornando o conteúdo acessível a quem tenha contacto com a rede e um equipamento que as suporte. Neste contexto Quéau afirma: “Novas escritas artísticas vão emergir, e levarão em conta, necessariamente, as propriedades específicas dessas ‘novas imagens’” (QUÉAU *in* PARENTE, 2008, p.9).

As imagens necessitam de um suporte físico. Essas imagens são livres e aproximam-se cada vez mais de um novo processo de linguagem.

Machado (2007) preocupa-se com um possível esvaziamento conceptual da arte contemporânea, dando lugar a uma glorificação da tecnologia que a coloca acima das intenções do artista, resultando em trabalhos que evidenciam as propriedades do *hardware* e do *software*, assemelhando-se mais a exibições das capacidades técnicas e combinação de possibilidades pré-definidas, do que com questões conceituais ou consistência estética e comunicativa.

Uma das principais características da arte contemporânea é a padronização, a estética do *merchandasing*, onde “a discussão estética foi quase inteiramente substituída pelo discurso técnico, e questões relativas a algoritmos, *hardware* e *software* tomaram grandemente o lugar das ideias criativas, da subversão das normas e da reinvenção da vida” (MACHADO, 2007, p.54). Em causa não está o homem ou as máquinas, mas sim o modo como nos relacionamos com elas.

Somos cada vez mais operadores de rótulos, apertadores de botões, ‘funcionários’ das máquinas, lidamos com situações programadas sem dar-nos conta delas. Pensamos que podemos escolher e, como decorrência disso, imaginamo-nos criativos e livres, mas nossa liberdade e nossa capacidade de invenção estão restritas a um conjunto de possibilidades dadas à priori e que não podemos dominar inteiramente (MACHADO, 2007, p.46).

Claudia Giannetti (2003) destaca a aproximação entre arte, ciência e tecnologia, em que se deve:

(...) recuperar o amplo significado original de “aisthesis”, que compreende as percepções, as sensações, os sentimentos ou os conhecimentos e, por outro, de incluir outras formas de percepção (...) É cada vez mais destacada a aproximação entre arte, ciência e tecnologia, apreciável em diversas produções audiovisuais, instalações interativas, criações telemáticas e outras manifestações da arte eletrônica. A peculiar relação entre as pessoas e os sistemas computadorizados, ou a questão da interface ser humano-máquina, são temas particularmente relevantes para a compreensão dos delineamentos “techoartísticos” atuais. O diálogo entre obra e espectador se estabelece não só sobre a base da linguagem ou a reflexão, mas principalmente de uma maneira prática, no sentido recursivo da comunicação, na medida em que exorta a própria ação do observador no contexto da obra.

Entre as reflexões que estão surgindo sobre a relação entre a arte e a tecnologia digital, cabe destacar dois temas específicos tanto pela sua relevância em relação com arte eletrônica, como por sua implicação filosófica, sociológica e cultural (GIANNETTI, 2003).

Já Costa (1997) propõe um olhar não separatista sobre o homem e a sua tecnologia, sobre o que há de humano nas novas tecnologias e o que há de não humano em nós.

Muito se fala da “influência”, “impacto”, “efeito” das tecnologias sobre o homem. Essa posição, aparentemente, continua sustentando uma distinção muito antiga entre a sociedade de um lado e as técnicas de outro. Como se fosse possível conceber o homem em sua história separado de seus aparatos técnicos

ou de suas tecnologias. Ora, mais profundamente, é o corpo do homem que parece ser reinvestido a cada inovação tecnológica (COSTA, 1997, p.64).

Sobre a questão de reconhecer a mão humana na arte digital feita hoje com recurso ao computador, o professor Carlos Fiolhais afirma convicto: “A arte não tem necessariamente de ser produzida pelos seres humanos, mas sim de ser reconhecida por eles; somos os recetores, mas nem sempre os emissores”.

Normalmente a obra digital pode reproduzir-se imediatamente sem perda de qualidade. Este é dos aspetos em que a arte digital tem semelhanças com a fotografia, outra disciplina que inicialmente não foi reconhecida como arte. Contudo, com as transformações ocorridas nas tecnologias digitais tudo está a mudar. As obras são radicalmente diferentes. Cada criador ou artista coloca o seu cunho pessoal na obra produzida, alcançando uma beleza e complexidade inimaginável há uma década.

4.3. A arte fractal é arte?

A polémica sobre a aceitação das imagens digitais como arte remonta à criação das primeiras obras a partir da década de 1980, até meados da década de 1990. A simplicidade dos algoritmos utilizados inicialmente e a paleta de cores (de 16 ou 256) utilizada, bem como a limitação técnica das capacidades de processamento dos computadores existentes tornaram pouco credíveis as imagens fractais como obras de arte. Eram consideradas elementares com uma elaboração mínima para lá dos cálculos normais necessários.

A arte digital pode ser considerada toda a expressão artística visual que é realizada utilizando o computador na maior parte do processo criativo. Entre estas expressões artísticas podem referir-se: projeto 3D, modelagem 3D, imagens fractais, pintura digital, desenho digital 2D e 3D, *Netart*, videoarte, entre muitos outros.

Para criar imagens fractais não é necessário um elevado nível de conhecimento matemático. O artista tem que dominar a utilização do *software* para mudar valores, variáveis, funções e criar as suas imagens. As cores também são aplicadas com base em fórmulas matemáticas e o fractal resultante depende da capacidade de lidar com essas

ferramentas. A arte fractal é uma arte contemporânea que nasceu, se desenvolveu e tomou forma com o advento do computador, sempre necessário para realizar cálculos complexos que seriam impossíveis sem esta ferramenta tecnológica.

A arte fractal está nos estágios iniciais de desenvolvimento como uma forma de arte aceite de forma independente. Só a partir de meados da década de 1990 é que os computadores e *software* avançaram o suficiente e permitiram explorar as imagens fractais de uma forma satisfatória.

Embora as aplicações práticas dos fractais sejam cada vez maiores em diversas áreas, o que mais contribui para a sua divulgação é a espetacularidade das imagens produzidas baseadas em fórmulas matemáticas. A arte de uma forma consciente ou inconsciente vai incorporando as novas descobertas científicas através de “imagens” metafóricas de modo a introduzir novos símbolos e ícones culturais.

A estética fractal veio romper com os padrões ordenados da estética clássica, fazendo com que a nossa percepção visual também se alterasse. O realismo e beleza desconcertante dos objetos fractais é uma fonte de inspiração e objeto de trabalho de vários artistas. A arte surge como uma forma de transgressão da ordem, resultando em obras que apresentam uma estrutura desordenada, aleatória, fragmentada e abstrata.

O artista fractal Kerry Mitchell escreveu um texto que define o que ele entende por arte fractal. Segundo Mitchell (1999) a arte fractal surgiu como género há cerca de 30 anos quando em 1985, foi publicado um artigo na revista *Scientific American*, sobre o conjunto de Mandelbrot. Muitos avanços surgiram após essa data, devido às novas possibilidades de renderização pelos computadores, desenvolvimentos técnicos e entendimento dos fractais.

Este texto com o passar do tempo tornou-se um clássico e tem servido de base para outros textos que abordam esta nova forma de arte. Ao longo destes anos a arte fractal tem vindo a libertar-se da simples geração de imagens fractais em computadores e tem gradualmente invadido o espaço tradicional de pintores e outros artistas plásticos. A maior evidência nos objetos fractais é a sua componente estética. Deparamo-nos sempre com objetos geométricos de uma beleza surpreendente, incontestável e ambígua. Estes objetos transportam-nos para mundos fantásticos onde a fantasia nunca foi tão real.

*Untitled (feb17b)**Demons (2003)**Once around the Park (2003)*Figura 32 – Obras de Kerry Mitchell³⁷

Kerry Mitchell (1999) define no *The Fractal Art Manifesto* três itens cruciais para a criação de arte fractal, definindo o que o próprio entende por arte fractal. Mitchell defende que os artistas fractais são tão capazes quanto os tradicionais. Da mesma forma que um fotógrafo consegue expressar ideias e emoções através do jogo de luz e sombras, o artista fractal é capaz de transmitir as mesmas sensações, uma vez que partilham a mesma tradição das artes visuais.

Segundo Mitchell (1999) é um género de arte que está intrinsecamente relacionada com a geometria fractal, que são conjuntos ou formas caracterizadas essencialmente pela autossemelhança e por uma infinita quantidade de detalhes. Esta forma de arte também se caracteriza por ser essencialmente criada por funções matemáticas através de processos iterativos, manifestando-se tipicamente como gravuras e imagens digitais.

Os vários fatores para a criação de arte fractal podem ser: desafios artísticos, uma busca matemática, ou diversão. Contudo, a arte fractal é diferente de outras atividades digitais (MITCHELL, 1999).

No texto *The Fractal Art Manifesto*, Mitchell explicita o que a arte Fractal não é:

- Arte computadorizada, pois não é o computador a fazer todo o trabalho. A obra só é feita no computador sob a direção do artista;
- Aleatória, no sentido estocástico, ou sem regras. A renderização fractal baseada na matemática é a quintessência do determinismo. Se seguirmos os mesmos passos na geração de uma imagem os resultados são iguais.

³⁷ Fonte: <http://kerrymitchellart.com/>

Contudo, pequenas variações no processo podem levar a alterações no resultado, permitindo que a arte fractal possa ser aprendida;

- Aleatória, no sentido da sua imprevisibilidade. A Arte Fractal, como qualquer atividade tem aspetos desconhecidos para os iniciados. Através da experiência as técnicas podem ser aprendidas. O essencial é rapidamente dominado, embora o domínio total leve muito tempo;
- Algo que qualquer pessoa com um computador pode fazer. Também, qualquer pessoa pode tirar uma fotografia, no entanto, nem todos podem vir a ser bons fotógrafos. Qualquer pessoa com um computador pode criar imagens fractais, mas só alguns virão a ser mestres na criação de arte fractal (MITCHELL, 1999).

Segundo Kerry Mitchell a arte fractal é:

- Expressiva. Os artistas fractais também são capazes de usar os meios que dispõem de forma expressiva, como os artistas tradicionais;
- Criativa. A imagem fractal pode ser criada como uma obra figurativa, uma abstração da forma básica ou uma obra não figurativa. O artista começa com um ecrã em branco e cria servindo-se dos mesmos elementos que o artista visual tradicional, como a cor, composição, etc.;
- Requer *input*, esforço e inteligência. O artista fractal deve dirigir a montagem de todos os elementos que podem ser manipulados, ajustados, alinhados e remanipulados no esforço de encontrar a combinação certa. Esta liberdade traz também a obrigação de entender o seu emprego e o resultado dos efeitos, requerendo da parte do artista concentração e inteligência (MITCHELL, 1999).

A universalidade da arte fractal é evidente se nos suportarmos na observação e reflexão. Ao observar imagens fractais entramos num estado contemplativo. Cada observador vê qualidades abstratas diferentes em cada imagem, tem a sua interpretação pessoal, que é transversal a todas as artes. A arte fractal produz efeitos no subconsciente do observador, embora este tipo de imagens nunca tenha aparecido antes na história. A complexidade e elegância das mesmas surpreendem sempre qualquer observador.

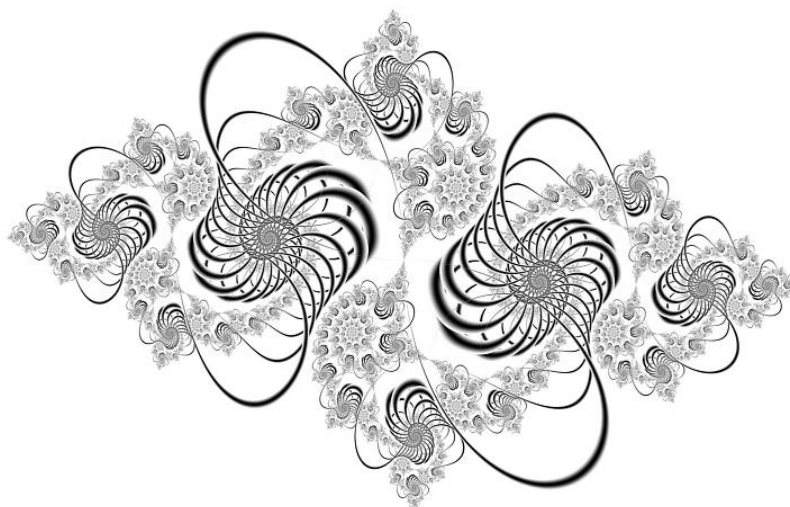


Figura 33 - *Jazz ala Oscar*, Kerry Mitchell, 2000³⁸

Na arte fractal o artista nunca tem a certeza qual será o resultado final. Na verdade, quando se trabalha com programas que geram imagens, é o fractal que dita o caminho a seguir pelo artista e não o contrário. Este facto caótico não faz com que a arte fractal se afaste da arte tradicional, pelo contrário, podem de alguma forma deixar as duas mais próximas. Por exemplo: um pintor tem uma ideia pré-concebida do que deseja pintar na tela, contudo, não controla totalmente os efeitos que o pincel provocará na tela, e é esse efeito caótico que aproxima estas duas formas de arte. O artista fractal dedicado passa horas a fazer pequenas alterações a vários parâmetros, esquema de cores ou efeitos, mas o resultado é sempre algo incerto.

Atualmente a internet tornou-se um lugar onde facilmente se pode encontrar arte fractal. A facilidade de criar uma imagem original tem levado muitas pessoas a desenvolver as suas habilidades e capacidades artísticas. A arte fractal irá evoluir e os futuros historiadores vão descrever este período referindo as tentativas de uma nova experiência humana.

A arte fractal é uma subclasse da arte visual e em muitos aspetos é semelhante à fotografia que na sua chegada foi recebida com ceticismo. A geração de imagens fractais pode ser considerada trabalho artístico, um exercício matemático ou apenas uma diversão.

³⁸ Fonte: <http://www.fractalus.com/kerry/gallery09/oscar.html>

A arte fractal é claramente distinta de outras atividades digitais. Citando Ken Keller³⁹: “A arte fractal é uma nova maneira de olhar para a forma do espaço. Por meio do computador abriu-se uma nova visão de ver o mundo”. O computador como ferramenta que é possui capacidades quase infinitas. Contudo, não é a ferramenta que cria a arte, é o artista. Arte fractal é simplesmente o que os artistas fractais criam: arte.

4.4. A autossimilaridade e M. C. Escher

Posso alegrar-me, com boa consciência, com esta perfeição e testemunhá-la, pois não fui eu que a inventei ou mesmo descobri. As leis matemáticas não são (...) invenções ou criações humanas. Elas são, elas existem completamente de forma independentemente da mente humana. O mais que uma pessoa lúcida pode descobrir é que elas estão lá e raciocinar sobre o assunto (ERNST, 1978, p.35).

As obras de M.C. Escher (1898-1972)⁴⁰ têm capturado a imaginação de artistas e matemáticos. A gama de xilogravuras *Circle Limit* de Escher é bastante completa. O plano é preenchido com figuras seguindo uma progressão geométrica, apresentando padrões que se repetem cada vez mais pequenos embora seguindo uma lei de escala determinada pela geometria hiperbólica⁴¹. Escher procurou o impossível e criou imagens com determinadas regras de modo a distorcer a natureza. Vamos concentrar-nos na série mais complicada de xilogravuras de 1958/1959; o *Circle Limit III*.

Inspirado pelos azulejos islâmicos que viu durante uma visita a Alhambra, em Espanha, tomou um passo corajoso de incorporar padrões que se repetem em diferentes escalas. O *Circle Limit III* reflete o desafio matemático e a problemática do artista. Com estas gravuras, Escher tenta alcançar o limite do infinitamente, pretendendo simbolizar o infinito. Segundo Escher: “Quem quiser representar um número infinito, tem de reduzir gradualmente o tamanho das figuras até que alcance, pelo menos teoricamente, o limite do formato infinitamente pequeno” (ESCHER, 1959).

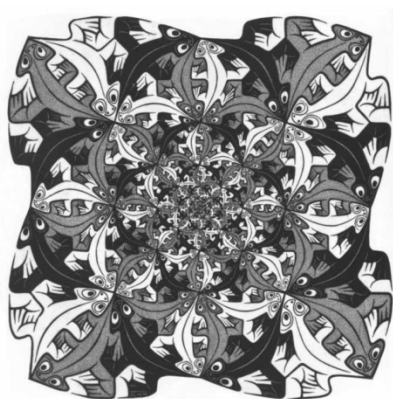
³⁹ Ken Keller é um artista fractal (<http://fineartamerica.com/profiles/ken-k.html>)

⁴⁰ Maurits Cornelis Escher (1898 - 1972) foi um artista gráfico holandês conhecido pelas suas xilogravuras, litografias e meios-tons, que tendem a representar construções impossíveis.

⁴¹ A geometria hiperbólica é uma geometria não euclidiana baseada no postulado de Lobachevsky e é independente do postulado de Euclides. Foi desenvolvida por Nikolai Ivanovich Lobachevsky.

Em 1958 inicia o período da gravura em madeira cada vez mais pequena e atinge o ponto culminante com a xilografia a cores *Circle Limit III*. A área de cada elemento (em forma de réptil) é cada vez mais pequena, é sistemática e continuamente reduzida a metade, sendo que em teoria se pode alcançar não só o formato infinitamente pequeno, como também um número infinitamente grande.

Para alcançar o equilíbrio visual desejado insistiu em padrões convergentes para um bordo circular. Os padrões repetem-se a partir do limite circular ao longo de trajetórias curvas até que se tornam a perder no limite e faz com que os padrões encaixem com a ajuda da matemática.



Smaller and smaller, 1956



Circle Limit III, 1958

Figura 34 - Gravuras de M. C. Escher (Fonte: LOCKER, 2000)

Para efetuar essa aproximação ao infinito, Escher utilizava “diagramas” nos quais explorava a possibilidade de representação de algo infinito sobre uma superfície finita de duas formas distintas: uma através de figuras onde é visível uma redução radial progressiva do ponto central para as margens, em que existe uma espécie de redução ou convergência para um ponto infinitamente pequeno. Outra forma tem a ver com a concentração no centro da figura; ao começarmos a desviar o olhar para um ponto exterior somos “convidados” a intuir a representação de um infinitamente grande.

Linhas circulares brancas interseccionam-se e dividem-se em fragmentos, que têm sempre o comprimento dum peixe. Elas indicam os trajetos em que se movem fileiras de peixes, desde os infinitamente pequenos, passando por um tamanho máximo, até infinitamente pequenos. Cada fileira contém só peixes duma cor.

São necessárias pelo menos quatro cores, para que as fileiras se distingam umas das outras (ESCHER, 1994, p.10).

Já Ernst escreve o seguinte, referindo-se a Escher e ao *Circle Limit III*:

(...) na xilogravura a cores Limite Circular III, as deficiências do Limite Circular I estão aqui consideravelmente eliminadas. (...) Foram necessárias quatro cores, para que cada fileira se distinga claramente das outras. Como todas estas fileiras de peixes, vindas duma distância infinita, sobem verticalmente como foguetes, da periferia, e de novo para lá se dirigem, nem uma componente alcançará alguma vez o limite. Pois para além é o «nada absoluto». E no entanto este mundo redondo não pode existir sem vácuo à sua volta – não simplesmente porque um interior pressupõem um exterior, mas também porque é no «nada» que, ordenados com exatidão geométrica, estão os pontos imateriais médios dos arcos, com que o sistema é construído (ERNST, 1978, p.109).

Esses padrões capturaram a imaginação dos artistas e matemáticos durante mais de meio século. O seu trabalho apresenta muitas vezes uma solução elegante comparável a um exercício de matemática num jogo visual inteligente. Na verdade, estaria mais interessado nas propriedades e nos padrões que aparecem no mundo real. O interesse no mundo físico é enfatizado pelos esboços de árvores que completou na mesma época do *Circle Limit III*. Estes esboços repetem padrões em diferentes escalas e diferentes tamanhos, que eram distorcidos quando refletidos na superfície de um lago ondulado. Estes padrões eram diferentes dos encontrados na natureza. O artista usou a geometria hiperbólica para descrever os padrões naturais. A série *Circle Limit* possui uma autossemelhança e padrões que se repetem em escalas cada vez mais reduzidas. O desenho hiperbólico diminui a uma taxa semelhante.

Escher empregou uma técnica em que as órbitas parecem ficar mais pequenas quanto mais próximo à borda do círculo, sem nunca o conseguir realmente alcançar. Foi assim capaz de dar a impressão de uma imagem infinita dentro dum espaço limitado, mantendo a forma reconhecível à medida que se aproxima do limite circular.



Figura 35 - Uma secção do *Circle Limit III* sobrepostas numa malha

Segundo o matemático Harold Coxeter⁴², Escher utilizou na gravura *Circle Limit III* um modelo aproximado ao de Poincaré, em que as fileiras de peixes nadam ao longo dos arcos brancos, desde os mais pequenos, aos maiores, até aos mais pequenos novamente, cortando a circunferência periférica com um ângulo de 80° em vez de um ângulo de 90° .

Reduzir o tamanho do quadrado da grelha é equivalente a olhar para o padrão em uma ampliação mais fina. Deste modo, as qualidades de estatística do padrão podem ser comparadas em diferentes ampliações. Os padrões de repetição não são fractais, mas sim hiperbólicos, no entanto existe uma autossimilaridade em toda esta série de xilogravuras.

Escher em breve chegara ao fim das suas possibilidades que dependiam de quatro fatores: da qualidade da prancha; da agudeza do instrumento de corte que usava; da segurança da sua mão e da sua capacidade visual. No caso do *Circle Limit III*, levou a bissecção até ao absurdo. O peixe mais pequeno, que tem ainda uma cabeça, uma cauda e quatro membros, mede cerca de 2 mm.

(...) não podemos imaginar que algures por detrás da estrela mais longínqua do céu noturno, o espaço possa ter um fim, um limite para além do qual nada mais existe. O conceito de vácuo diz-nos ainda alguma coisa, pois um espaço pode estar vazio (...), mas a nossa força de imaginação é incapaz de apreender o conceito de nada no sentido de ausência de espaço (ERNEST, 1978, p.102).

⁴² Harold Scott MacDonald Coxeter (1907-2003), matemático inglês, distinguiu-se pela forma como explorou a relação entre a teoria dos grupos e a geometria. Os seus trabalhos em espaços hiperbólicos tiveram influência sobre Escher na representação do infinito.

4.5. Pinturas fractais de Jackson Pollock

Em 1945, o pintor americano Jackson Pollock (1912-1956) mudou-se da baixa de Manhattan, para Spring, uma cidade calma no campo e passou a dedicar grande parte do seu tempo a observar as formas da natureza com a finalidade de aí se inspirar para a criação das suas pinturas.

Jackson Pollock tornou-se conhecido pela nova técnica de pintura utilizada que era novidade na época. Consistia em gotejar a tinta com vários instrumentos em substituição do tradicional pincel sobre uma tela colocada no chão. Pollock afastou-se da representação figurativa e desafiou a tradição ocidental de usar cavalete e pincel. Com esta técnica nunca era estabelecido o contacto físico entre a tela e o instrumento de pintura. Esta técnica de expressão plástica irreverente levou a que a comunidade artística, que tinha tantos críticos como apoiantes, discutisse todo o seu trabalho. Tornou-se uma figura importante no movimento expressionista abstrato ficando conhecido pelo seu estilo único de pintura por gotejamento.

A comunicação social na época também não ficou alheia a este fenómeno. Em 1956, a revista *Time*⁴³ atribuiu-lhe a alcunha de "*Jack the Dripper*"⁴⁴, devido ao seu estilo característico de pintura.

Pollock dizia que se baseava nos ritmos da natureza para pintar os seus quadros. A marca registada de Pollock eram traços de cores contorcidas que se entrelaçavam em redemoinhos de tinta. Os críticos divergiam na opinião dessas obras extremamente abstratas. Esse “estilo primitivo de pintar seria fruto de puro génio ou tratava-se de um bêbado debochando das tradições artísticas?” (TAYLOR, 2003, p.86).

Uma pesquisa recente do Departamento de Física da Universidade New South Wales, na Austrália, sugere que algumas obras do artista Jackson Pollock refletem uma estrutura fractal. O próprio Pollock defendia que essas obras refletiam “pura harmonia”. Alguns críticos definiam essas obras como meras explosões desorganizadas e aleatórias.

⁴³ *Time Magazine*, conhecida revista americana (<http://www.time.com>)

⁴⁴ Jack o gotejador, fazendo uma analogia a “Jack the Dripper” (Jack o estripador) e a “dripper” (gotejador)

Depois dos pesquisadores analisarem uma série de pinturas produzidas entre 1943 e 1952 concordaram com Pollock, pois vieram a encontrar relações fractais em vez de “explosões” desorganizadas nas obras de pintura por gotejamento. Uma das características dos fractais é a sua autossimilaridade em múltiplas escalas. Os pesquisadores ao analisarem algumas pinturas de Pollock notaram que tinham características fractais através da análise da dimensão (TAYLOR, 2003).

Devido às suas características peculiares em termos de expressão, os quadros de Pollock foram alvo de estudos matemáticos liderados por Richard Taylor (2003), que demonstrou a presença de padrões fractais em algumas pinturas de Pollock. O físico com a ajuda do computador analisou algumas das obras de Pollock e comprovou que possuíam propriedades fractais. Esta característica invulgar permitiu aos investigadores proceder à avaliação de autenticidade e datação das obras de Pollock. É desta forma que nas obras de Pollock é possível estabelecer uma associação entre a dimensão do padrão fractal de uma tela e o ano em que foi pintada, pois a dimensão fractal aumentou com o passar dos anos.

A complexidade visual dos padrões fractais de Pollock foi possível quantificar através do conceito de dimensão fractal. Neste caso descreve de uma forma numérica o preenchimento de uma superfície. Se em 1943 Pollock utilizava tinta que cobria 20% da tela, em 1952 usava múltiplos “rabiscos” que abrangiam mais de 90% da tela. Durante as pesquisas descobriram que a dimensão fractal destas obras aumentou de forma constante de um valor de 1,12 em 1945, para um valor de 1,72 em 1952 (TAYLOR, 2003).

A expressão artística de Pollock veio a refletir toda a complexidade dos longos períodos da observação da natureza, como o emaranhado de ramos numa árvore ou a rugosidade de um tronco. A analogia que existe entre imagens da natureza e os quadros de Pollock em termos de dimensão fractal é evidente.

Como Taylor (2003) demonstrou, Pollock foi aperfeiçoando esta técnica ao longo de cerca de 10 anos. Entre os anos 1943 e 1945 as suas pinturas podem ser caracterizadas por baixos valores da dimensão fractal. A experimentação de novas técnicas de gotejamento na fase de transição entre 1945 e 1947 levou a um aumento brusco da dimensão fractal das obras produzidas nesse período.

Esta técnica foi sendo aperfeiçoada e a dimensão fractal das suas obras foi crescendo gradualmente no período designado por alguns de “clássico” entre 1948 e 1952.



Number 23, 1948, com padrões fractais $D = 1,3$ *Number 31*, 1950, com padrões fractais $D = 1,9$

Figura 36 – Pinturas de Jackson Pollock⁴⁵

Os estudos em torno da dimensão fractal envolvendo várias obras de Pollock foram efetuados aplicando o método de capacidade limite, ou *Box Counting*⁴⁶, que consiste em acrescentar grelhas de quadrados idênticos nas imagens digitalizadas das pinturas. O número de quadrados foram contados e este processo foi repetido à medida que o tamanho dos quadrados foi reduzido. Para se achar a dimensão fractal, o maior quadrado foi escolhido para coincidir com o tamanho da tela e o mais pequeno foi escolhido de modo a coincidir com o mais pequeno detalhe de 1 mm (TAYLOR, 2003).

O método *Box Counting* é um dos mais conhecidos e utilizados para efetuar uma estimativa da dimensão fractal de um objeto ou imagem. Consiste em sobrepor a uma imagem digitalizada, uma grelha de quadrados e contar o número de quadrados necessários para cobrir toda a forma (COELHO; COSTA, 1995). Recolhe dados de padrões complexos para análise a partir de um conjunto de dados, normalmente analisando pedaços de imagem cada vez menores, baseando-se na relação:

$$R_l(F) = \mu \cdot l^{-D} \quad (16)$$

onde $R_l(F)$ é o número de quadrados de lado l que contenham parte da forma F . A partir desta relação obtém-se a dimensão fractal:

⁴⁵ Fonte: <http://www.jackson-pollock.org>

⁴⁶ *Box counting* é um método de recolha de dados para a análise de padrões complexos através de um conjunto de dados, objeto, imagem, etc, em pedaços cada vez mais pequenos. A essência do processo tem sido comparada com o *zoom* usando métodos óticos ou computador para analisar mudanças de escala.

$$D = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln(R_l(F))}{\ln(l)} \quad (17)$$

O processo é comparado a um *zoom* usado para analisar as mudanças de detalhe e escala nas observações.

5. VIDEOARTE FRACTAL

“Não há nenhum ramo da matemática, por mais abstrato que seja, que não possa vir a ser aplicado, mais cedo ou mais tarde, aos fenômenos do mundo real”

Nicolai Lobachevsky (1792 - 1856)

Os aspetos que mais se evidenciam nos fractais são a sua componente estética, as propriedades e inúmeras aplicações. Uma das aplicações, também a mais colorida é o uso de fractais na arte. Os fractais são figuras complexas fascinantes que chamam a atenção pela sua beleza.

A arte digital não pode ser considerada fora do contexto da arte tradicional. Na verdade, toda a diversidade de formas e expressão artísticas só pode ser compreendida no âmbito da arte contemporânea. Um dos atributos presentes na criação e produção de arte digital é a sua curta duração, o que torna a arte digital efêmera. Atualmente, como é produzida em massa torna-a globalizada. “As atividades acontecem numa arena que é global ou quase; as atividades são organizadas, planeadas ou coordenadas em uma escala global; as atividades envolvem algum grau de reciprocidade e interdependência, de modo a permitir que atividades locais situadas em diferentes partes do mundo sejam modeladas umas pelas outras” (THOMPSON, 2002, p. 135).

A videoarte teve como precursor o artista sul-coreano Nan June Paik⁴⁷ que em 1965 comprou uma das primeiras câmaras para filmar a visita do Papa pelas ruas de Nova York. É neste contexto que os pesquisadores afirmam ter surgido a videoarte, com o objetivo de se tornar um movimento artístico para questionar o cinema. Surge entre o cinema e a imagem infográfica, sendo edificada pelas tensões e interações entre os diferentes campos da comunicação audiovisual.

⁴⁷ Nam June Paik (1932 - 2006) foi um artista que trabalhou em diversos meios de arte. Ficou conhecido pela descoberta e criação da videoarte.

5.1. Características da arte digital

Vivemos atualmente um contexto de profundas mudanças na forma como pensamos, agimos e nos relacionamos. Muitas das mudanças estão relacionadas com a cultura digital que apresenta novas formas de expressão e percepção. Para compreender a arte digital torna-se necessário compreender algumas das suas características.

Por norma, na arte digital o público é atraído para interagir⁴⁸ com a obra, podendo esta ser vista como um processo, algo que não termina no objeto físico. A interatividade pressupõe uma interação entre o público e a máquina que ocorre em tempo real a diferentes níveis. A interatividade na produção digital torna-se uma experiência de diálogo. Couchot discorre sobre a interatividade e propõe dois modos: exógeno e endógeno.

Assim, revela a interatividade como “exógena”, ou seja, um “diálogo” homem/máquina. Entre eles estão, rato, teclado, tela e uma série de captosres e ligações que fazem o contacto do homem com o sistema computacional. Já, o modo “endógeno” da interatividade está relacionado aos objetos numéricos que reagem entre si e com o utilizador: “Criam-se assim, objetos dotados de uma espécie de percepção (...). Estes atores trocam mensagens entre si, assim como com os utilizadores” (COUCHOT, 2003, p.16).

As primeiras obras de arte digital só tinham princípios simples de interatividade. A partir de 1990, devido a avanços registados nas tecnologias começaram a ser utilizados computadores para produzir e criar multimédia interativa.

A interatividade atingiu uma etapa superior em complexidade e autonomia. Nesse sentido, ela segue a evolução da cibernética. Enquanto a "primeira cibernética" se perguntava mais sobre as noções de controlo e de comunicação (no animal e na máquina) e de informação, a "segunda cibernética" interroga-se preferencialmente sobre as noções de auto-organização, sobre estruturas

⁴⁸ Acredita-se que Ivan Sutherland, na década de 1960, tenha sido o precursor na utilização de tecnologias interativas.

emergentes, redes, questões de adaptação e evolução (COUCHOT, BRET e TRAMUS *in* DOMINGUES, 2003, p. 32).

Couchot, Bret e Tramus concluem ainda que esta segunda interatividade busca a percepção e a autonomia.

Na interatividade, o público é induzido a tocar na obra ou a movimentar-se, sendo os movimentos captados e recondicionados pela tecnologia envolvida. O público compreende que existem outros sentidos envolvidos na obra que despoleta as mais variadas sensações. A obra interativa só acontece se o público participar e interagir com o sistema computacional, saindo da posição de espectador passivo e interagir com a obra.



Figura 37 - *BioBodyGame*⁴⁹

A interatividade é intrínseca a cada utilizador que vê e percebe a obra a realizar-se a partir de uma interação única com ela, que ocorre naquele instante e que tem o seu tempo para acontecer, só percebido a partir do “diálogo” com a máquina.

Outra característica da arte digital é a virtualidade que age sobre o real através de representações. Para se entender melhor a virtualidade Quéau afirma:

⁴⁹ Fonte: <http://www.rachelzuanon.com/>

A representação virtual distingue-se da representação escrita ou da representação icónica por vários traços característicos: a universalidade do código de base (o numérico), o elo operatório entre linguagens formais e imagem, a calculabilidade, a capacidade de simulação e de visualização concreta de modelos abstratos. O virtual permite agir sobre o real com auxílio de representações ‘eficazes’ do mundo. A imagem virtual não é uma imagem do mundo, é a janela de um mundo ‘intermediário’ no qual se pode imergir, no qual se pode encontrar os outros, e no qual se pode agir sobre o mundo real por intermédio de todo tipo de captadores e realizadores (QUÉAU, 2000, p.85).

Analisando a afirmação de Quéau (2000) conclui-se que o virtual tem o poder de agir sobre o real sendo uma atração para o público. Com a imersão nestas imagens virtuais são despoletados sentidos desconhecidos na relação entre o homem, máquina e imagem, só possíveis através de imagens virtuais sem “corpo” físico. Para Couchot (2003) as imagens por simularem o real envolvendo o espetador são virtualmente verdadeiras. “É um ambiente cuja existência é apenas computacional. Um ambiente virtual. O epíteto “virtual” atribuído à imagem numérica interativa qualifica o conjunto de cálculos que estão na origem de seu nascimento” (COUCHOT, 2003, p.174).

Deduz-se que a virtualidade para Couchot (2003) tem lugar no interior da máquina, num ambiente de interação e troca de dados, existindo uma ligação entre o homem, máquina e imagem virtual produzida.

Todos os que vivem sob uma lógica digital são sensibilizados por uma nova cultura, a cibercultura. Os mundos virtuais apresentam-se mais estilizados, “(...) a imagem de síntese estabelece ligações inéditas entre preceitos e conceitos, entre fenómenos perceptíveis e modelos inteligíveis” (QUÉAU *in* PARENTE, 2008, p.94).

Atualmente, o virtual é uma extensão do real, tornando difícil perceber qual a instância da realidade nas suas mais diversas manifestações. A dicotomia que até há algum tempo foi válida entre o real e virtual torna-se uma espécie de anacronismo. Por exemplo, os diversos museus virtuais do mundo estão à distância de um clique e conseguem mais

visitas do que os museus físicos. Recentemente foi lançado pela empresa *Google* um importante museu virtual: o *Art Project* ⁵⁰.

A imersão é outra possibilidade da arte digital que emerge o público num mundo de sensibilidades. Oliver Grau explica que a imersão “(...) é sempre caracterizada pela diminuição da distância crítica do que é exibido e o crescente envolvimento emocional com aquilo que está acontecendo.” (GRAU, 2007, p. 30). A imersão e o envolvimento do público permite que se sinta noutra “mundo”, pois tem a possibilidade de alterá-lo com ferramentas que proporcionam estas sensações. Quanto mais realista for a simulação, maior deverá ser a imersão do público no espaço virtual e realizar ações neste espaço, percebendo as imagens virtuais e reagindo à sua presença. Na imersão, o real, o virtual, a máquina e o público compõem um ambiente em que se “vive” uma realidade só possível pelas interações entre todos.

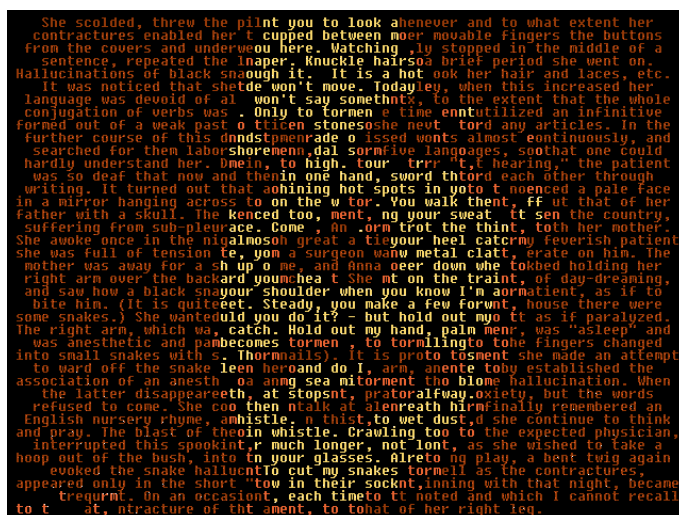


Figura 38 - *Talking Cure* (2002)⁵¹

Na atual sociedade impregnada de mediatismo, a arte digital oferece interatividade, virtualidade e imersão, com respostas rápidas em tempo quase real. Esta dinâmica é uma característica determinante na produção da obra. Estas características da arte digital definem uma forma diferente de expressão e percepção da obra, que é diferente da obra artística tradicional.

⁵⁰ Disponível em: <http://www.googleartproject.com/>

⁵¹ Fonte: <http://www.noahwf.com/talkingcure/>

5.2. O paradigma dos novos artistas

Atualmente a tecnologia assume um papel crucial na arte digital. Muitos são os exemplos de sítios na internet e programas informáticos que nos fornecem uma perspetiva diferente da arte tradicional. É possível através de *software* criar imagens fractais, desde as mais simples às mais complexas, prescindindo de conhecimentos de geometria e matemática. Os artistas percebem o momento e adaptam-se a cada época da civilização.

Cada época de uma civilização cria uma arte que lhe é própria e que jamais se verá renascer. Tentar revivificar os princípios artísticos de séculos passados só pode levar à produção de obras natimortas. Assim como é impossível fazer reviver em nós o espírito e as maneiras de sentir dos antigos gregos, também os esforços tentados para aplicar seus princípios (...) só levarão à criação de formas semelhantes às formas gregas. A obra assim produzida será sem alma para sempre (KANDINSKY, 1996, p.27).

Neste processo de adaptação e transformação com a importância cada vez mais focada nas alterações das relações sociais e na difusão de conhecimento, Furtado escreve:

Os desenvolvimentos espetaculares das novas tecnologias de informação e comunicação na última década e meia provocaram uma diversidade de reflexões e de acesas controvérsias sobre (...) novas formas e técnicas de produção, reprodução e difusão de conteúdos. (FURTADO, 2006, p.5)

Mas é nas manifestações artísticas que o homem pensa, sente, cria e transforma a sua realidade. A função da arte hoje é de analisar, criticar e refletir a realidade humana socialmente. De acordo com Kuspit,

A arte representacional corresponde a um tipo de pensamento que assume que o que vemos na obra de arte corresponde ao que vemos no mundo real. No mundo digital aquilo que vemos é a própria realidade da imagem digital; isto é, uma

trama de pixels que conforma uma imagem constituída por uma cadeia de números alfanuméricos. A imagem digital não procura "substituir" a realidade, ela é a realidade (KUSPIT, 2006, p.12).

Analisando as mais variadas manifestações artísticas que o homem desenvolveu através da história entendemos o mundo de que fazemos parte. A arte não é um conceito fechado, a arte tem um significado infinito.

Por meio da Arte é possível desenvolver a percepção e imaginação, aprender a realidade do meio ambiente, desenvolver a capacidade crítica, permitindo ao indivíduo analisar a realidade percebida e desenvolver a criatividade de maneira a mudar a realidade, que foi analisada (BARBOSA, 2003, p.23).

Com a Teoria do Caos e a geometria fractal surgiram novas abordagens, novas propostas, novas realidades, perspectivas e meios técnicos. Para Popper os meios técnicos levantam algumas questões.

Uma tal panóplia de meios técnicos incomuns na produção de imagens ou de propostas visuais não deixava de levantar numerosas questões sobre a relação entre estética e técnica, entre imaginação artística, invenção científica e experimentação tecnológica (POPPER *in* PARENTE, 2008, p. 202).

Na cultura digital a interatividade é mediada primordialmente, não pelos meios digitais propriamente ditos, mas pela internet que coloca a interação numa escala global e deslocalizada, uma interação que já não é de um para um, mas de um para milhões. É uma interação que só é possível no âmbito do fluxo de dados, da rápida transmissão de informações.

A tomada de consciência desse fenómeno por jovens artistas, mas também por artistas engajados há muito tempo na valorização de técnicas para fins estéticos é o ponto essencial nesse desenvolvimento. É a partir desse momento que se pode falar de uma arte da tecnociência, de uma arte em que intenções estéticas e

pesquisas tecnológicas fundadas cientificamente parecem ligadas indissolvelmente e, em todo caso, se influenciam reciprocamente (POPPER *in* PARENTE, 2008, p.203).

A arte contemporânea existe numa época de convergência mediática onde se utiliza o digital para suportar a importância do artista, numa cultura que funciona como um catalisador onde a evolução depende de processos tecnológicos.

Por fim parecem existir três tendências no horizonte criativo da arte digital: os projetos que conseguem lidar com os novos formatos de imagem; os projetos que lidam com experiências de realidade aumentada; e os projetos que usam de uma forma criativa as especificidades da designada *Web 2.0*⁵² em todas as suas dimensões de partilha.

5.3. Sistema de videoarte

A arte digital é uma arte produzida em ambiente computacional utilizando processos digitais e virtuais. Para Marcos,

O criativo de arte digital imerge num processo de intensa reflexão, enquanto no ciclo de criação, que resulta do amadurecimento gradual da sua visão inicial (*theoria*), da experimentação prática com as tecnologias e os materiais (*praxis*) e da construção efetiva ou materialização de protótipos de e do próprio artefacto (*poesis*), que refina ou abandona (os protótipos), enquanto redefine o seu significado e forma. Existe um processo interior, de questionamento ao nível do “eu”, dos vários “eu”s e dos “outros”, que assumem a forma dos materiais, das tecnologias, e dos atuais e futuros observadores/utilizadores/experimentadores humanos da sua obra (MARCOS, 2012, p.140).

Existem diversas categorias de arte digital, mas normalmente é apreciada em ambiente gráfico computacional, instalações, demonstrações ou em vários sítios na internet. Fica demonstrado que a arte não é criada só com as mãos.

⁵² O termo *Web 2.0*, compreende os sítios da internet que facilitam a partilha de informação, centrado num ambiente de interação, colaboração e partilha.

Uma das formas de expressão da arte digital é a criação de imagens e vídeos fractais com recurso a programas criados para o efeito, como o *Apophysis 3D Hack*, utilizado neste trabalho, como veremos a seguir. Este programa recorre a fórmulas mais abrangentes do que as descritas pela geometria fractal para criar imagens.

Os motivos que levam a criar videoarte fractal são os mesmos da criação de imagens: o fator experimental e a possibilidade de criar algo completamente novo e inusitado, permitindo que se vivenciem diferentes sensações, algo único a cada observador. Neste caso é interessante observar as formas que a matemática e geometria assumem. Ao juntar a ciência, tecnologia e arte, resulta uma miscelânea de descoberta, criação e expressão artística.

Entender e compreender o vídeo também é importante em todo o processo criativo. Quanto mais conhecimento de arte tiver o autor ou artista, melhor serão os resultados obtidos. Os artistas precisam de muito trabalho e empenho para atingir um grau de perfeição. Citando J. D. Salinger⁵³: "A tarefa de um artista é aspirar a certo grau de perfeição e nada mais"

5.4. Implementação do projeto

Nos capítulos anteriores procurou-se estabelecer as bases teóricas e desenvolver os conceitos para sustentar o trabalho a desenvolver. De modo a fundamentar este trabalho, seguidamente são descritos os passos que levam à criação de videoarte fractal.

5.4.1. Fractal *Flame*

Os fractais *flames* (chamas) são algoritmos que geram imagens e animações baseadas no *software* escrito por Scott Draves, em 1992, e pertencem à classe dos fractais IFS. Acredita-se ser o primeiro *software* desenvolvido para a arte visual em *open source*⁵⁴ (DRAVES; RECKASE, 2003). A programação desta classe de fractais foi incorporada em

⁵³ Jerome David Salinger (1919-2010), foi escritor norte-americano. Criado em Manhattan, Salinger começou a escrever contos na escola secundária tendo publicado alguns no início dos anos 1940 antes de servir na II Guerra Mundial. Em 1948, publicou o livro *A Perfect Day for Bananafish*, muito aclamado pela crítica.

⁵⁴ O termo *open source*, em Português, código aberto, foi criado pela OSI (Open Source Initiative) e refere-se a software também conhecido por software livre.

muitos programas gráficos comerciais e portado para a maioria dos sistemas operativos. O código fonte aberto criado por Draves foi adaptado através de *plugins*⁵⁵ para o *Adobe Photoshop*⁵⁶, *Adobe After Effects*⁵⁷ e posteriormente para programas como o *Apophysis 3D Hack*.

Os fractais *flames* são considerados extensões especiais dos fractais do tipo IFS. São uma linguagem visual orgânica calculada de maneira diferente da maioria dos fractais. O algoritmo calcula todo o conjunto fractal de uma só vez, em vez de utilizar processos iterativos como na maioria dos fractais (DRAVES; RECKASE, 2003). Os *flames* são a base das imagens do programa *Apophysis 3D hack* utilizado neste trabalho. Em baixo, um exemplo de um ficheiro de um fractal *flame*.

O Programa permite criar imagens que exibem o máximo detalhe possível, o que normalmente resulta em imagens complexas com uma estética facilmente perceptível. Os fractais criados com base em *flames* são muito utilizados em efeitos especiais, filmes e vídeos de música.

```
<flame name="Expiral" version="Apophysis 2.08 3D hack" size="555 435" center="1.08831188269874 -2.11373690827204"
scale="69.1060659825969" oversample="1" filter="0.5" quality="50" background="0 0 0" brightness="4" gamma="4"
gamma_threshold="0.04" >
<xform weight="0.3333333333333333" color="0" spiral="1" coefs="0.185912385646175 0.892878246892651 -0.249572673894139 -
0.00821082027415749 0.781718662939966 0.335006851237267" />
<xform weight="0.3333333333333333" color="0.5" spiral="1" coefs="-0.135352878705988 0.723521038146434
0.511055067376202 0.470676904559663 -0.321242317557335 -0.518793984781951" />
<xform weight="0.3333333333333333" color="1" spiral="1" coefs="0.442332324357589 0.808399548650422 0.722176566300866 -
0.0186651646054599 -0.503480388782918 -0.727773914579302" />
<palette count="256" format="RGB">
726EE7706EE9716EE7736EE6746EE3766FE17770E17871E1
7872E07872E07872E07872E07872E07872DF7973DF7A73DE
7B74DE827BDB884D8958DD6A494C1B49CACB09BB1AD9AB6
8C7FCE8B7DCF8A7CD19A87BFAB93ADB5969AC09988DB9945
C7802EB05F1DA3604696626F8E6EA0877BD18479D08278CF
7773C8744E78712A28944A22B76A1CCB8533DFA14AFBCA64
FEE765FFEB66FEF16DFEF775FEF174FEEB73F3DE74E9D275
CABB9EC8B89FC7B5A1D6AF80E5A960E4A957E4A94FEDB053
EDB757C8B799B5A3ADA38FC29685C98A7CD17A75DB6F6EE6
6364F26264F36265F46363F46561F46663F16766EE6B6AEC
6C69EC6C69EA6F6BE8726EE7756FE47871E17C74DB8679D3
AA94BBB19BB4B8A2AEB79DA7B798A0A17F9AAA979BB29F99
C4B0A7CEB893D1BF95D4C697D3C099D2BB9BC3AAAEAE9BB7
887CD28479D48076D77D74DA7B72DD7871E1736EE66D6BEA
6C69EA6B6AEC6B6AEC6B6AEC6766F06665EF605DF25061F7
5960FF6869EF7872E07F77DA877DD49B88C8B7A0B2C3AFA6
C5B2A3A897BB9B8DC58E83CF8281CF8279D67D75DA7A73DD
7B72DD7A72DD7A73DD7972DE7872E07870DF7871E17871E1
746FE5706EE96E6CE96D6BEA6C69EA6D6AEB706EE97273F1
7677ED7779E6797BE07D75DA8076D78076D77C74DB7A73DB
7169D66665ED4E4CDE3733D01627BD001897310B48450E35
7E28058B3506994308A85414A85513AB5A18B06454A28077
```

⁵⁵ *Plugin*, é um complemento de uma aplicação que adiciona funções novas, geralmente muito específicas.

⁵⁶ Disponível em: <http://www.adobe.com/pt/products/photoshop.html>

⁵⁷ Disponível em: <http://www.adobe.com/pt/products/aftereffects.html>

```

9973A4867ACC8679D1877AD48578D48279D68176D48476D5
8076D78076D78076D77C74DB7A73DD7872E07871E1746FE3
726EE6E6CE76D6BEA6A6AEE6C6EF76C71F37271F07170E8
7871E17B72DD8279D6887CD29A80BDB5957CDD984BE3A93E
CF8836C67931CB8432D28E3DDA9C45B69A84AC878F9181C8
6F70DA6364F0545AEC3838BC031A9C00075826084835103B
7D310FA14D0DB15F25C77E31B89788A695B59286C8877AD2
8578D28177D87C74DB7A73DD7973DF7871E1746FE3706FE7
6D6BEA6C69EA6B6AEA6767E96668E36B68E96C69EA6C69EA
6D6BEA726EE77871E17973DF7E77E17A74DE7C76D87A73DD
</palette>
</flame>

```

Draves também criou outro tipo de processo baseado em *flames* que denominou *Electric Sheep*⁵⁸ (ovelha elétrica) que é executado com base numa computação voluntária e processamento distribuído. Este processo é administrado por milhares de pessoas em todo o mundo, podendo o programa ser instalado em qualquer computador, bem como, em sistemas operativos *Android*⁵⁹ e *iOS*⁶⁰. Quando os computadores estão em modo de espera, a capacidade de processamento é aproveitada pelo *Electric Sheep* para partilhar o cálculo de modo a criar animações abstratas conhecidas por *sheeps* (DRAVES, 2013).

Qualquer pessoa pode votar nas suas animações favoritas. As “ovelhas” mais populares “vivem” mais e “reproduzem-se” de acordo com um algoritmo de mutação genético, por isso o “rebanho” evolui para agradar ao público global, sendo o resultado deste processamento distribuído a criação de animações fractais muito complexas (DRAVES, 2013).

5.4.2. Ferramenta criativa *Apophysis 3D Hack*

Inicialmente foram equacionados dois programas *freeware* que permitissem abordar a vertente vídeo na arte fractal: O *Mandelbulb 3D*⁶¹ e o *Apophysis 3D Hack*⁶². O *Mandelbulb 3D* efetua uma visita virtual a objetos fractais em 3D, enquanto o *Apophysis 3D Hack* possui maior liberdade criativa porque utiliza uma linguagem de programação baseada em *scripts*⁶³.

⁵⁸ Disponível em: <http://www.electricsheep.org/>

⁵⁹ <http://www.android.com/>

⁶⁰ <http://www.apple.com/ios/>

⁶¹ Disponível em <http://sourceforge.net/projects/apophysis/>

⁶² Disponível em <http://apophysis.org/>

⁶³ *Script* (do latín *scriptum*, escrito), é uma linguagem de programação executada no interior do programa

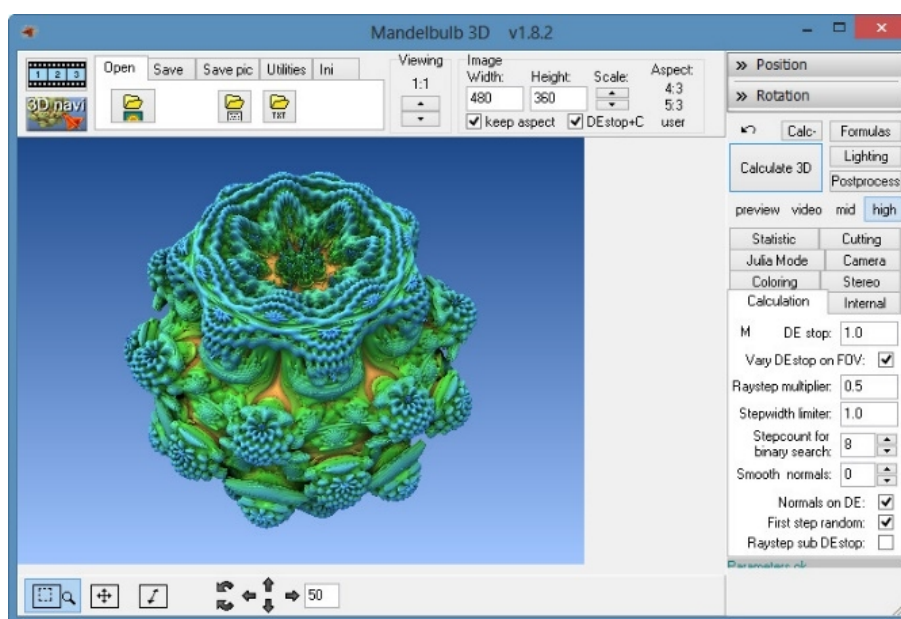


Figura 39 - Programa *Mandelbulb 3D*

Os primeiros testes de vídeo foram feitos no programa *Xaos*⁶⁴ e no programa *Ultra Fractal*⁶⁵. Depois de efetuada uma análise e apreciação sobre as possibilidades de cada um, veio a optar-se pelo *Apophysis 3D Hack* por se considerar aquele que melhor se enquadrava no pretendido e abandonaram-se os restantes programas. O *Apophysis 3D Hack* é uma ferramenta interessante para criação de videoarte pela facilidade de uso. As criações com este programa resultam em imagens e vídeos apelativos.

O *Apophysis 3D Hack* permite em poucos passos criar animações a partir de dezenas ou centenas de *frames*⁶⁶, possibilitando modelação tridimensional, aplicação de paletas de cor, entre outras opções. O mais importante é a criação e execução de uma linguagem de programação baseada em *scripts* de modo a ser possível ter o máximo controlo sobre o que é criado. Também se procedeu à recolha de manuais e visitas a vários sítios de internet onde se ensinam os fundamentos básicos do programa.

⁶⁴ Disponível em <http://wmi.math.u-szeged.hu/xaos/>

⁶⁵ Disponível em <http://www.ultrafractal.com/>

⁶⁶ *Frame* (quadro ou moldura), cada um dos quadros ou imagens fixas de um produto audiovisual. Se o produto em questão tenha sido realizado em vídeo designa-se: vídeo frame.

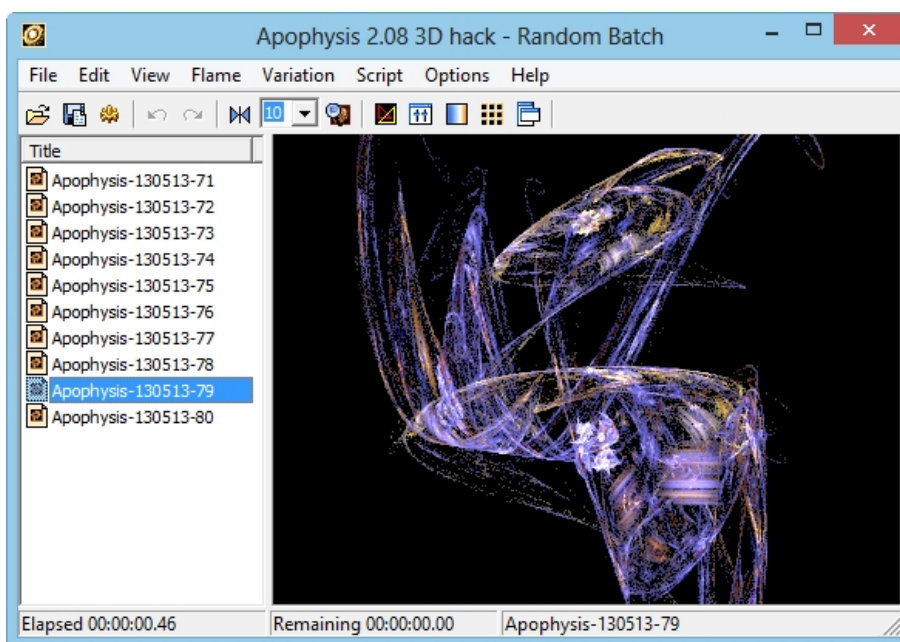
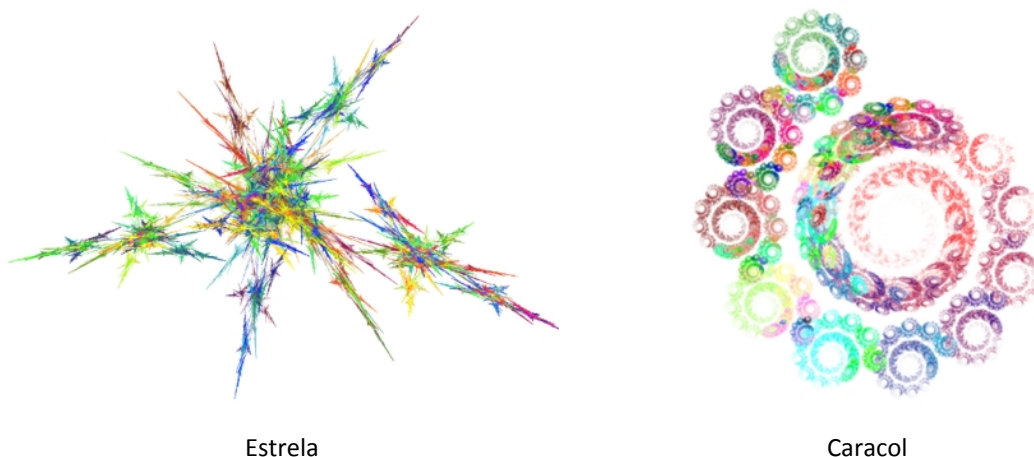


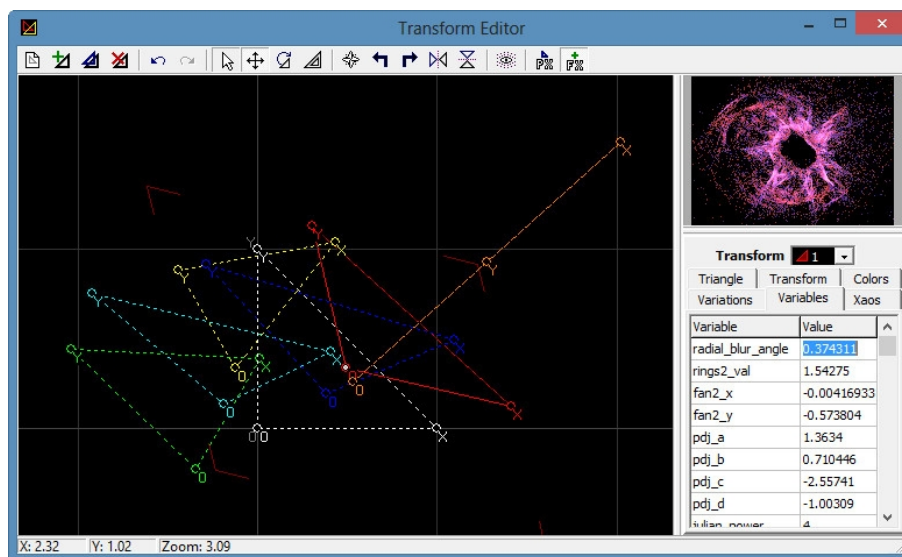
Figura 40 - Ecrã principal do programa *Apophysis 3D Hack*

Este programa cria imagens de rara beleza, atraentes e intrigantes. A simplicidade do interface permite a sua utilização sem se compreender a matemática subjacente. A intervenção criativa individual tem como finalidade a criação de imagens fractais sempre diferente, uma vez que os fractais são por definição infinitos. Apesar dos algoritmos que geram as imagens serem relativamente simples a quantidade de cálculos que realiza são enormes, demorando várias horas ou até dias a produzir centenas de imagens necessárias à criação de vídeos.

Para a criação de imagens, são indicados valores iniciais, números de iterações, parâmetros para cor, várias coordenadas, entre outros. A partir de um conjunto quase infinito de parâmetros, geram-se as imagens. Podemos ver a sua formação no ecrã do computador, no entanto, não temos qualquer informação que nos permita compreender os cálculos executados. As figuras seguintes ilustram dois exemplos de fractais criados com programa *Apophysis 3D Hack*.

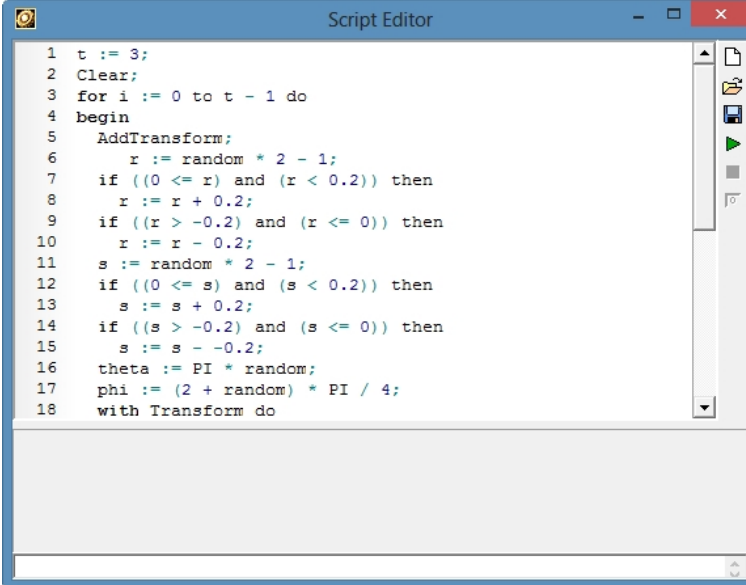
Figura 41 – Figuras fractais criadas com o programa *Apophysis 3D Hack*

Existem vários modelos e formas fractais disponíveis para serem trabalhadas ou alteradas pelo utilizador. Possui também um editor de transformações para modificar diversas variáveis, gerando imagens abstratas ou movimentos, que resultam em belos efeitos visuais.

Figura 42 - Menu *Transform Editor*

Cada alteração nas variáveis envolvidas produz efeitos imediatos que podem ser observados numa pequena janela do próprio editor. Na maioria dos casos tudo o que é preciso para efetuar uma alteração ou modificação do *flame* é mover ou redimensionar

alguns triângulos. Também é possível criar, editar e executar *scripts*. A possibilidade do próprio autor escrever o seu *script* e utilizá-lo da maneira que quiser para criar os efeitos pretendidos, torna o programa muito versátil e poderoso.



```
1 t := 3;
2 Clear;
3 for i := 0 to t - 1 do
4 begin
5   AddTransform;
6   r := random * 2 - 1;
7   if ((0 <= r) and (r < 0.2)) then
8     r := r + 0.2;
9   if ((r > -0.2) and (r <= 0)) then
10    r := r - 0.2;
11   s := random * 2 - 1;
12   if ((0 <= s) and (s < 0.2)) then
13     s := s + 0.2;
14   if ((s > -0.2) and (s <= 0)) then
15     s := s - -0.2;
16   theta := PI * random;
17   phi := (2 + random) * PI / 4;
18   with Transform do
```

Figura 43 – Editor de *Scripts*

O ambiente do programa é inteiramente gráfico. A interface limpa facilita a compreensão e utilização. Todos os parâmetros podem ser editados por meio de menus, barras ou alteração de variáveis.

5.4.3. Meios técnicos utilizados

Além do programa informático referido, foi também utilizado um computador com um processador Pentium 4, com 2 Gb de RAM e 80 Gb de disco. Este computador considerado obsoleto para os atuais padrões foi usado na criação da maioria das imagens e a totalidade dos vídeos.

Esta opção veio a revelar que é possível executar complexos algoritmos matemáticos com equipamento mais antigo, ainda que com prejuízo na velocidade dos cálculos.

5.4.4. Criação e desenvolvimento do trabalho

Seguidamente vai ser feita uma descrição mais pormenorizada de alguns aspetos considerados relevantes na criação de imagens e vídeos fractais.

- Cor

Um dos aspetos de maior importância prende-se com a paleta de cores como referência visual sobre todo o sistema, que traduz um bom, ou mau resultado no aspeto estético final. Talvez seja um dos aspetos mais importantes em qualquer obra artística. O programa utilizado já possui por defeito algumas centenas de paletas⁶⁷ de cor. Nas paletas individuais ainda existe uma extensa gama de combinações de cor de modo a seleccionar-se a combinação de cor mais desejada. Também pode ser seleccionado o brilho a gama de cada cor.

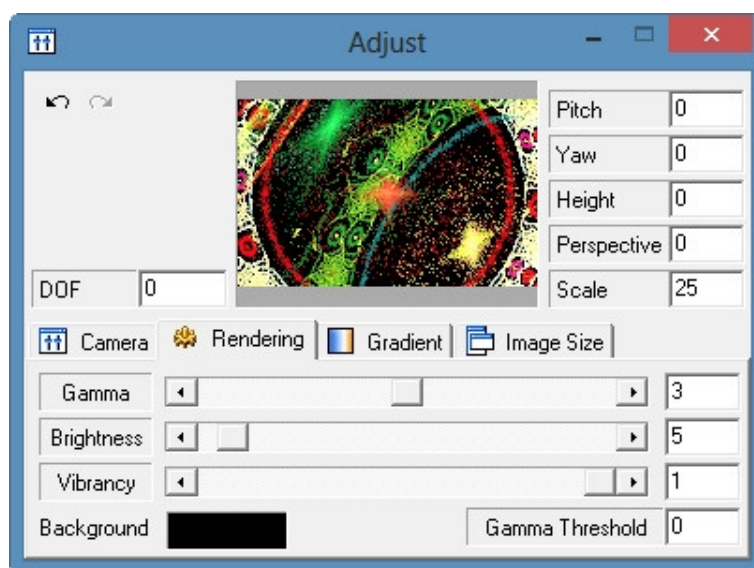


Figura 44 - Ajuste do brilho e gama da cor

Em cada imagem ou conjunto de imagens podem definir-se quase todas as combinações de cores possíveis que serão refletidas no resultado final.

⁶⁷ Uma paleta, no jargão da informática, é um subconjunto determinado da gama total de cores suportadas pelo sistema.

- Som/Música

A criação de vídeos é uma tarefa interessante do ponto de vista criativo, estético e artístico. Depois da junção de milhares de imagens procede-se à visualização para verificação dos resultados. Rapidamente se concluiu que faltava algo. O que faz falta ao vídeo é o som/música. Um vídeo sem som transmite a sensação de algo incompleto.

Nos vídeos optou-se sempre por utilizar sons disponíveis na internet de forma gratuita. Também se procurou utilizar sons que tivessem sido criados por técnicas digitais.

As fontes de sons utilizados nos vídeos foram essencialmente: ADC Level⁶⁸, Karsten Keppel⁶⁹ e Palancar⁷⁰, utilizados sob a licença *Commons Attribution – Non Commercial – No Derivs 3.0 Unported*⁷¹. Todavia, existem na internet outras fontes onde se pode descarregar de forma gratuita sons para utilização pessoal. Deve destacar-se a forma como som e vídeo se complementam para produzir um bom resultado.

- Scripts

O programa *Apophysis 3D Hack* apenas cria imagens individuais. Como já foi referido, um dos aspetos pelo qual se optou por esta ferramenta foi a possibilidade de criar, utilizar e executar uma linguagem de programação baseada em *scripts*. Em baixo, um exemplo de código⁷² de programação *script* utilizado no programa.

```
//*****  
  
t := 3;  
Clear;  
for i := 0 to t - 1 do  
begin  
  AddTransform;  
  r := random * 2 - 1;  
  if ((0 <= r) and (r < 0.2)) then  
    r := r + 0.2;  
  if ((r > -0.2) and (r <= 0)) then  
    r := r - 0.2;  
  s := random * 2 - 1;  
  if ((0 <= s) and (s < 0.2)) then  
    s := s + 0.2;  
  if ((s > -0.2) and (s <= 0)) then  
    s := s - 0.2;
```

⁶⁸ Disponível em: <http://www.jamendo.com/en/artist/587/adc-level>

⁶⁹ Disponível em: <http://www.kk3d.de/music/index.htm>

⁷⁰ Disponível em: <http://archive.org/details/earman101>

⁷¹ Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

⁷² Disponível em: <http://apophysis.org/tutorials/scripts4.html>

```
theta := PI * random;
phi := (2 + random) * PI / 4;
with Transform do
begin
a := r * cos(theta);
b := s * (cos(theta) * cos(phi) - sin(theta));
c := r * sin(theta);
d := s * (sin(theta) * cos(phi) + cos(theta));
e := 1 + 0.3 * random;
f := 1 + 0.3 * random;
end;
end;
for i := 0 to Transforms - 1 do
begin
SetActiveTransform(i);
Transform.Color := i / (Transforms - 1);
Transform.Weight := 1 / Transforms;
end;
ResetLocation := True

//*****
```

Entre vários *scripts* disponíveis gratuitamente na internet, optou-se pelo *script Render Flam 3*⁷³, de Giovanni Rubaltelli, utilizado sob licença GPL⁷⁴.

Um *script* é criado com o propósito de expandir as capacidades de um determinado programa de computador, com a finalidade de produzir resultados que de outro modo não seria possível obter normalmente.

Estas linguagens de programação de *script* ou *scripting* são linguagens de extensão de programação criadas especificamente para determinado programa, sendo interpretada e executada pelo programa para o qual foi criada. Normalmente são baseadas em linguagens de programação conhecidas.

Sem a utilização de *scripts* as imagens seriam criadas sem qualquer transição entre as mesmas, o que inviabilizaria a criação de sequências animadas. A utilização de *scripts* torna possível a animação de sequências de imagens e maior capacidade e liberdade criativa.

⁷³ Disponível em: <http://exper.3drecursions.com>

⁷⁴ GPL, General Public License (Licença Pública Geral), é uma designação da licença para software livre que foi idealizada por Richard Matthew Stallman em 1989, no âmbito do projeto GNU da Free Software Foundation (FSF).

- Variações e transições

O programa possui várias formas ou variações fractais predefinidas. Entre essas formas podemos encontrar: *linear*, *sinusoidal*, *spherical*, *swirl*, *horseshoe*, *polar*, entre muitas outras.

Quando se procede à criação de um vídeo tem que se definir quais as transições pretendidas e quanto tempo se pretende definir entre as variações. Por norma definiu-se um período de 30 segundos entre as variações.

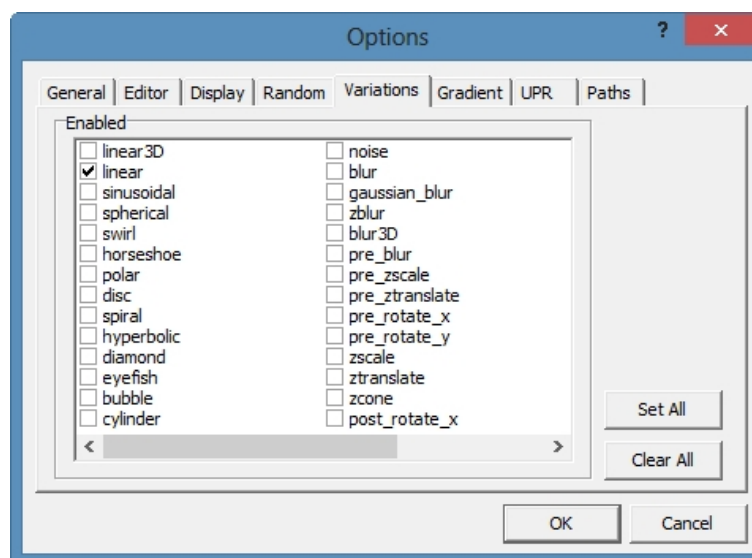


Figura 45 - Variação das formas

Desta forma, quando se inicia a sequência da variação a execução do *script* é muito importante, pois permite que o programa efetue o cálculo das várias dezenas de imagens de modo a finalizar uma variação e iniciar a variação seguinte, sem que exista uma quebra visual entre diferentes variações e transições. Este processo é conhecido por *morphing*⁷⁵.

Para realizar um *morphing* procede-se na imagem à rodagem dos elementos que participam na transformação. O elemento de origem (por exemplo o rosto de um homem) e o elemento final (segundo o exemplo, pode transformar-se no rosto de outro homem, mulher, um animal, etc.). O programa corre o *script* para processar ambos os elementos,

⁷⁵ Um *morphing*, anglicismo construído a partir de la palavra grega μορφή (“forma”), é um efeito especial que utiliza a animação por computador para transformar a imagem de um objeto na imagem de outro objeto. Utiliza-se para criar a ilusão da transformação de uma coisa noutra coisa.

estabelecendo pontos comuns entre o elemento inicial e o elemento resultante da transformação. O *script* é utilizado para calcular e gerar as animações e todas as etapas intermedias da transformação digital.

- Área visual

O programa pode trabalhar com imagens até 3200 x 2400 pixéis de resolução. Embora essa resolução seja utilizada normalmente na criação de *wallpapers*⁷⁶, quando se pretende criar vídeos essa resolução tem necessariamente que ser mais baixa devido à complexidade dos cálculos necessários. É possível criar vídeos com qualidade *Full HD*⁷⁷, mas seriam necessários vários dias ou semanas para processar alguns minutos de vídeo, mesmo com os mais recentes equipamentos informáticos.

Inicialmente teve que se estabelecer uma resolução padrão para o vídeo de modo a não colocar em causa a relação entre qualidade e rapidez de processamento. A opção tomada foi de encontro à dimensão típica da janela de visualização do *Youtube*, uma resolução de 640 x 360 pixéis e uma proporção de visualização de ecrã 16:9.

Esta resolução permite uma qualidade baixa comparativamente ao *Full HD*, mas em contrapartida possui uma boa relação entre resolução e capacidade de processamento dos meios técnicos utilizados. Foi uma solução de compromisso. Para aumentar a qualidade e resolução dos vídeos teria que existir maior capacidade de cálculo ou mais tempo para o processamento.

- Mutação

No programa tudo é parametrizável. Qualquer opção nas formas predefinidas pode ser alterada infinitamente de modo a ser obtido o resultado mais desejado. Em qualquer tipo de variação ainda existe a capacidade de gerar mutações aleatórias, o que permite a geração de infinitas imagens.

⁷⁶ *Wallpaper*, em Português, padrão de fundo

⁷⁷ Full HD, é a sigla de *Full High Definition*, que significa Máxima Alta Definição. A resolução associada é de 1920x1080 (2.1 megapixel), com proporção de ecrã 16:9.

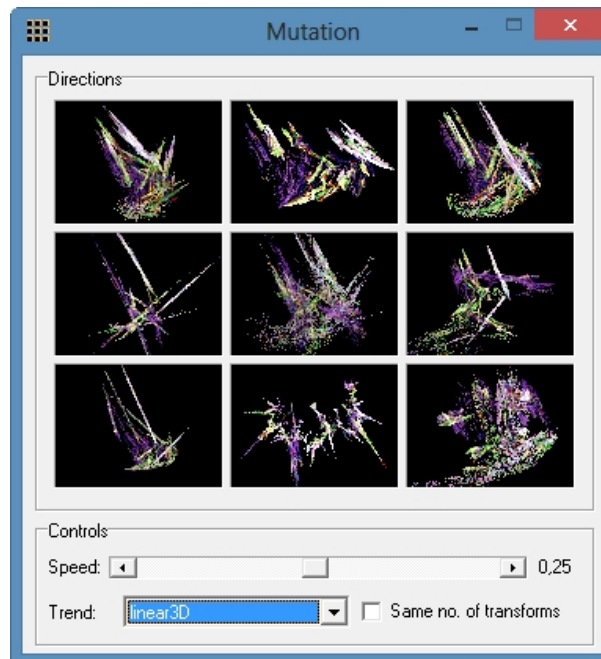
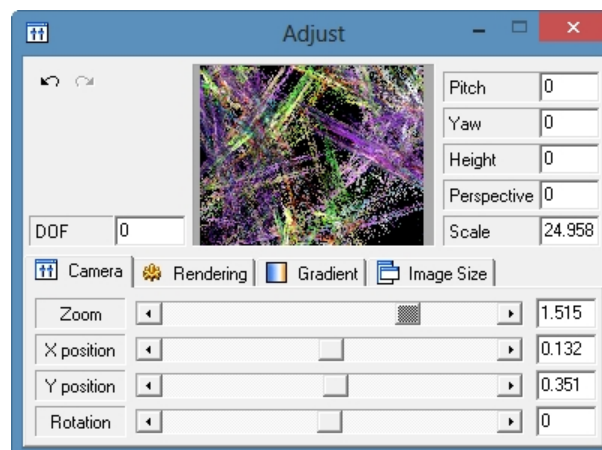


Figura 46 - Mutaç o de uma imagem

Tamb m se pode optar por uma dessas imagens e alterar completamente os par metros que a definem como o *zoom*, posi o, rota o e outras vari veis.

Figura 47 - Op o de *zoom*, posi o e rota o de imagens

Em suma, a variedade   t o grande que ao ser acrescentada a op o de muta o de varia es, juntamente com a manipula o pessoal, permite infinitas combina es.

- Estética e identidade visual

Os fundamentos da estética surgiram da Grécia antiga com Sócrates, Platão e Aristóteles. A palavra estética deriva do grego: quer dizer perceber, sentir. Pode ser um adjetivo (como na expressão "imagem estética") ou um substantivo (área da Filosofia), e está relacionada com a reflexão e estudo do belo. A palavra é normalmente usada com sinónimo de beleza. Já na pré-história se supões ter existido pensamento sobre estética nas produções gráficas elaboradas pelo homem das cavernas.

A palavra estética como hoje é conhecida foi empregue pela primeira vez pelo filósofo alemão Alexander Baumgarten⁷⁸ no séc. XVIII para designar o estudo das sensações ou a teoria da sensibilidade. A estética designa os fenómenos ligados à percepção por meio dos sentidos, o conceito do belo e da forma como o ser humano percebe e sente.

Já a identidade visual é considerada um conjunto sistematizado de elementos gráficos que identificam visualmente um produto ou evento (imagem, vídeo, conjunto de cores).

Na comunicação visual, a composição trata basicamente das regras para organizar os elementos visuais em uma mensagem que alcance os seus objetivos comunicativos, que sejam visualmente apelativos e provoquem emoções no observador. As figuras numa composição visual podem também ser “forças” a conduzir a percepção em determinada direção. As cores quentes parecem avançar na direção do observador, enquanto cores frias parecem recuar. Toda a composição visual pode ser conduzida com o uso das características formais corretas.

Na criação de vídeo pretendíamos que a identidade visual se mantivesse durante toda a visualização. Apesar das transições entre as variações manteve-se dentro do possível uma uniformidade visual.

⁷⁸ Alexander Gottlieb Baumgarten (1714 - 1762), foi um filósofo alemão. No seu trabalho *Meditações Filosóficas Sobre as Questões da Obra Poética* (1735), introduziu pela primeira vez o termo "estética", com o qual designou a ciência que trata do conhecimento sensorial que chega à apreensão do belo e se expressa nas imagens da arte, em contraposição à lógica como ciência do saber cognitivo.

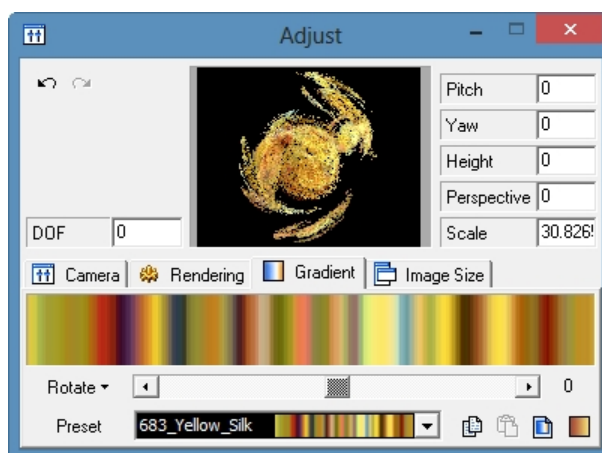


Figura 48 - Ajuste na graduação da cor

Nos primeiros vídeos não se considerou essa uniformização, simplesmente se selecionavam as variações no programa e o *script* ajudava a criar as centenas de imagens que iriam formar o vídeo. Esse procedimento resultava numa transição mais abrupta entre variações. Posteriormente foram criados vídeos com variações da “mesma família” e o resultado foram transições mais suaves.

Com o evoluir das capacidades criativas os vídeos produzidos foram melhorando na sua estética e identidade visual, que resulta da relação entre um sujeito que é o experimentador e o objeto experimentado, que é a composição visual (o vídeo), tentando corresponder a uma síntese entre intelecto e emoção, entre o princípio da ordem e o da intuição.

- *Frame rate*

Em audiovisual *frame rate*⁷⁹ é a medida do número de imagens ou quadros individuais que um determinado dispositivo processa e exibe numa determinada unidade de tempo. Em cinema é a medida da cadência no qual um reprodutor de imagens gera distintos fotogramas, sendo a cadência medida em fotogramas por segundo (fps)⁸⁰. No vídeo, estes fotogramas são chamadas de *frames* e a medida da cadência é em *frames* por segundo.

⁷⁹ Cadência ("*frame rate*") em audiovisual.

⁸⁰ FPS, fotogramas por segundo, ou em inglês *frames per second*

Nos primeiros vídeos foram considerados 25 fps, mas rapidamente se constatou que era uma velocidade de reprodução baixa, optando-se de seguida por definir uma velocidade de 30 fps, que permitiu uma velocidade de reprodução mais razoável.

- Duração de reprodução dos vídeos

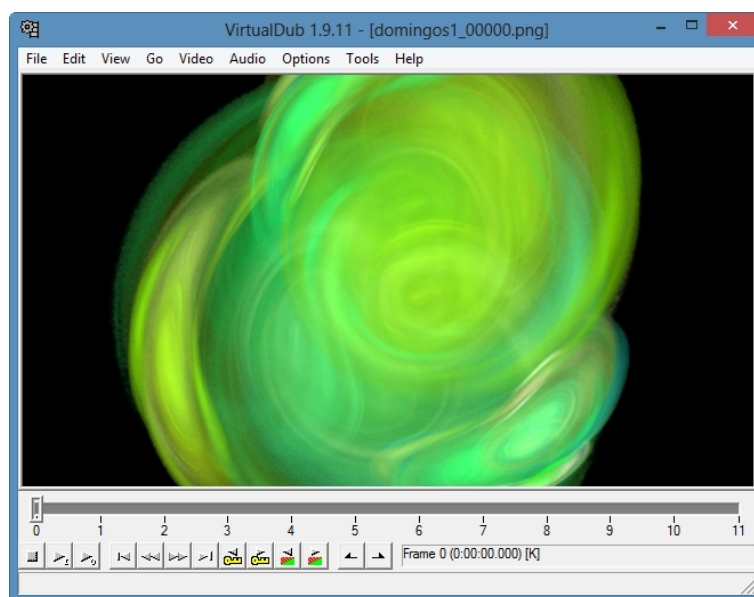
O passo seguinte foi encontrar o tempo médio de visualização. Não deveria ser pouco, nem demasiado tempo. Se fosse pouco, poucas variações se iriam observar nos vídeos. Demasiado tempo levaria à saturação visual. Foi definido um tempo médio de reprodução entre 2 e 3 minutos.

Esta opção foi tomada essencialmente tendo em conta os meios técnicos disponíveis e a reprodução média de um vídeo no *Youtube*. Numa demonstração/instalação ao vivo o tempo médio de visualização seria superior, entre 20 e 60 minutos. A duração de reprodução dos vídeos teve como finalidade a visualização na internet.

- Junção de imagens em sequência animada

Para juntar os milhares de imagens criadas para cada vídeo utilizou-se o programa *VirtualDub*⁸¹, de utilização gratuita. Com este programa é possível editar vídeos, adicionar efeitos, ajustar compressões de áudio e vídeo, etc. Através de filtros é possível aumentar as suas capacidades, como: cortar, redimensionar, inverter, converter para preto e branco, ajustar contraste, brilho, saturação, etc.

⁸¹ Disponível em: <http://www.virtualdub.org/>

Figura 49 - Programa *VirtualDub*

O programa também permite converter o *frame rate* para qualquer taxa desejada. Suporta vídeos com pistas de áudio e é possível converter vídeo para qualquer formato, desde que o respetivo *codec*⁸² esteja instalado no computador. Não sendo exatamente um editor, este programa é muito bom a processar vídeo. A interface do *VirtualDub* pode gerar alguma desconfiança mas é apenas uma questão de habituação. O programa é eficiente e o resultado final é de qualidade.

- Montagem final

Para a montagem final e exportação dos vídeos utilizou-se o programa *iMovie*⁸³, um programa que faz parte da suíte de aplicativo *iLife* criado pela Apple.

⁸² *Codec*, é um programa de computador capaz de codificar ou decodificar um fluxo de dados digital ou sinal. A palavra *codec* é uma junção de "codificador-decodificador", ou de forma menos comum, "compressor-descompressor".

⁸³ Disponível em: <http://www.apple.com/ilife/imovie/>

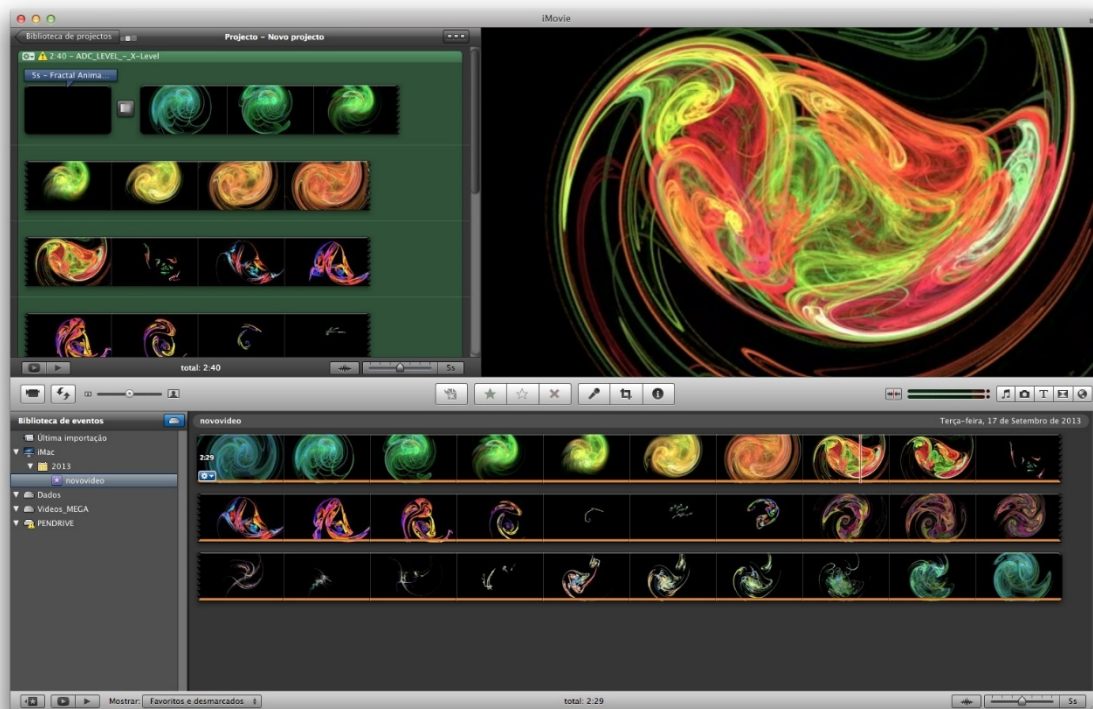


Figura 50 - Programa iMovie

O *iMovie* permite ao utilizador editar e criar os seus próprios filmes. Depois de importado o vídeo criado pelo *VirtualDub* é possível editar, cortar, colar, inserir títulos e pistas sonoras. Inclui ainda vários efeitos para correção de cor, ferramentas para melhorar os vídeos, transições e efeitos de apresentação.

A exportação do vídeo pode ser feita para vários formatos e resoluções, incluindo exportação direta para o *YouTube*, *Vimeo* e *Facebook*. Foi selecionado o tamanho médio de resolução para todos os vídeos criados. No *iMovie* este tamanho corresponde a uma resolução de 640 x 360 pixéis, codificado com o *codec* H.264⁸⁴, a 30 *fps* e 1,7 Mbps de taxa de amostragem. Desta forma foi mantida a mesma resolução desde a criação das imagens individuais até à visualização final do vídeo no *Youtube*.

⁸⁴ H.264 ou MPEG-4 parte 10, é uma norma que define um *codec* de vídeo de alta compressão

6. REFLEXÃO

“Cada problema que resolvi tornou-se numa regra que, serviu depois para resolver outros problemas”

René Descartes (1596 - 1650)

Para criar videoarte fractal não é necessário ter grandes conhecimentos de geometria ou matemática. Os programas usados para a criação de fractais são simples de utilizar, mas muito complexos nos cálculos, contudo, só é necessário definir valores e variáveis para criar imagens e vídeos. As cores e formas são aplicadas com base em algoritmos matemáticos e o resultado depende da sensibilidade do artista e das suas capacidades de domínio da ferramenta.

A videoarte fractal é uma arte contemporânea que nasceu e se desenvolveu com as mais recentes tecnologias informáticas e comunicação. Sem estas tecnologias seria impossível criar e observar os resultados em espaços físicos ou virtuais.

6.1. Análise dos resultados

Em seguida vai efetuar-se a análise comparativa de três vídeos exemplificativos do trabalho realizado. Os três exemplos contêm elementos diferenciados quanto à técnica, conteúdo visual e estético. Cada um possui características diferentes dos demais.

Começemos por analisar o vídeo *“Fractal Vídeo 12”* (<http://www.youtube.com/watch?v=3gsuvf30K6U>). Este vídeo foi criado na fase inicial deste trabalho. Existia pouco domínio na utilização do programa *Apophysis 3D Hack*. Nesta fase ainda não era dada importância a vários aspetos como: variações, transições,

paleta de cores, estética e identidade visual. Apenas eram considerados os elementos essenciais para a sua criação.

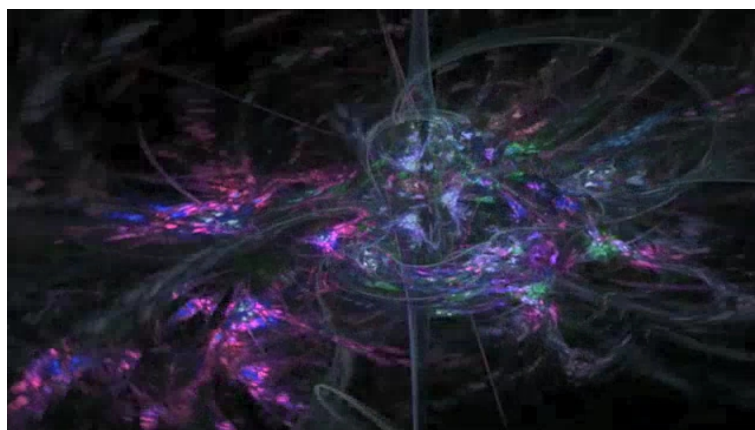


Figura 51 - *Fractal Vídeo 12*

Nesta fase inicial já se procedia à montagem dos vídeo com o programa *iMovie*, que permite inserir o título no início e as referências técnicas no final. Para a criação do vídeo procedeu-se à seleção de algumas variações. Não existia qualquer preocupação com a paleta de cores ou outros efeitos mais elaborados que resultassem num trabalho mais depurado.

O som já era considerado um elemento importante na criação do vídeo. Neste aspeto sempre existiu uma atenção para que o som formasse com o vídeo uma relação harmoniosa de modo a potenciar o audiovisual.

Como se pode verificar na figura anterior, o resultado foi um vídeo básico sem aspirações de se tornar uma referência. Há que referir que nesta fase a experimentação sucessiva é essencial. Só assim se consegue uma evolução criativa e estética de modo a atingir os resultados pretendidos.

Numa primeira análise o segundo vídeo pouco difere do anterior. No entanto, existem diferenças substanciais que não são imediatamente detetadas sem fazer uma descrição mais pormenorizada dos acontecimentos e procedimentos adotados na criação deste vídeo.

O vídeo em questão é o vídeo “*Fractal Animation 23*” (<http://www.youtube.com/watch?v=wPF9LDjQ7oc>). O processo adotado foi análogo ao vídeo anteriormente analisado. As diferenças em causa relacionam-se com uma área mais técnica da criação.



Figura 52 - *Fractal Animation 23*

O programa *Apophysis 3D Hack* produz imagens em formato PNG⁸⁵ ou JPG⁸⁶. Estas imagens podem ser renderizadas com fundo base preto ou transparente, conforme seleção que se queira efetuar no programa. Neste vídeo foi efetuada a seleção para o modo transparente das imagens PNG. Finalizado o processo de renderização verificou-se que não correspondiam aos padrões dos vídeos antecessores porque existia uma deturpação nas imagens.

Depois de se proceder a uma análise do sucedido veio a constatar-se que o programa *VirtualDub* não trata da mesma forma as imagens PNG com fundo transparente, como trata o mesmo formato com o fundo base preto.

Detetada a deturpação, as várias centenas de imagens com fundo transparente foram convertidas para formato JPG. Procedeu-se novamente à junção e verificou-se que os padrões anormais que inicialmente tinham surgido no vídeo já não eram tão evidentes.

Desta experiência, pode concluir-se que deve existir muito cuidado quando se trata de definir um fundo transparente na renderização de imagens. Uma situação idêntica já

⁸⁵ PNG (*Portable Network Graphics*)

⁸⁶ JPG (ou JPEG, “*Joint Photographic Experts Group*”) é um método comum usado para comprimir imagens fotográficas

tinha sido detetada no vídeo “*Fractal Animation 21*”. Na altura da sua criação não foi deduzido que anomalia poderia ser devida ao formato PNG com fundo transparente. Após essa experiência só foram considerados vídeos com fundo base preto.

Por último, vamos analisar o vídeo “*Fractal Animation 32*” (<http://www.youtube.com/watch?v=0tLKxfNDMGk>). Este pode ser considerado um vídeo com algumas características mais elaboradas tanto a nível estético como sonoro.

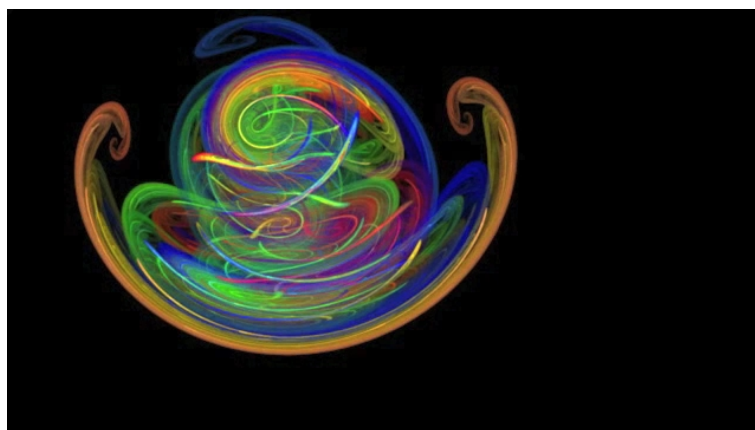


Figura 53 - *Fractal Animation 32*

Na criação deste vídeo optou-se por manter o mesmo tipo de variações nas transições, para que fosse visualmente uniforme. Este visual deveu-se à escolha baseada em seis variações da “família” *Horseshoe*. Outro aspeto considerado foi a utilização da mesma paleta de cores nas variações, o que permitiu uma grande uniformidade visual.

A seleção do som foi mais criteriosa de modo a melhorar o conjunto. Também se procedeu à mudança de tamanho de letra na abertura e na ficha técnica. Trata-se de uma das experiências melhor conseguidas.

Da análise sumária a estes três vídeos podem retirar-se algumas conclusões. No primeiro vídeo analisado houve pouca preocupação na componente compositiva, estética e sonora. Foi criado basicamente a partir de algumas seleções no programa.

O segundo, apesar de ser um vídeo análogo ao anterior, foi na parte técnica que se verificaram as deformações visuais, tendo sido parcialmente contornadas com a conversão

das imagens para o formato JPG. Quando se utilizam fundos transparentes deve ter-se especial cuidado na criação, processamento e produção.

Relativamente aos anteriores o último vídeo analisado foi também o que levou mais tempo a projetar e a processar. Procurou-se que fosse um vídeo mais uniforme baseado em várias transições da mesma “família” e paleta de cores.

Desde pequeno resumo mais haveria para analisar. O mesmo se passa com este trabalho. Por mais vídeos que sejam criados, o último por norma, será melhor que os antecessores. Esta é a base da experimentação. Haverá sempre algo que nunca está terminado. Nunca nos devemos conformar com os resultados obtidos, deverá existir sempre a necessidade de superação.

6.2. Resultados obtidos

A intenção deste trabalho não foi apresentar fórmulas ou cálculos, foi demonstrar que a partir da geometria pode criar-se videoarte fractal. Agora vamos retornar às questões que nortearam este trabalho e fazer a súmula dos resultados obtidos.

O principal foco deste trabalho foi direcionado para a pesquisa na área da videoarte. Este caminho levou a que se tivesse que percorrer a geometria, matemática, o caos e outras teorias físicas modernas, bem como a arte contemporânea.

Os resultados obtidos foram condicionados pelas amostras dos vídeos produzidos que, por serem amostras de conveniência, não permitem resultados generalizáveis. As amostras também sofrem de várias limitações, entre as quais, a mais importante é o reduzido número de visualizações no blogue e canal do *Youtube* como se irá verificar.

Um dos resultados que deve ser tido em consideração é o fator lazer individual, sendo talvez o fator predominante neste tipo de arte digital. No que diz respeito à criação e análise, que é o cerne deste trabalho, obtiveram-se vários resultados.

A escolha do programa foi importante, apesar do pouco tempo de utilização permitiu uma aprendizagem e evolução técnica.

Também se verificou que os estudos nesta área específica são escassos devido à pouca informação recolhida sobre a aplicabilidade da geometria fractal na videoarte. Deste ponto de vista este trabalho é uma contribuição para o desenvolvimento da videoarte fractal desmistificando a sua criação/experimentação.

Os resultados obtidos indicam que a criação de vídeo através de funções matemáticas é viável e vai além de simples criação de imagens estáticas. Esperamos que o trabalho realizado sirva de base para que outras pessoas possam prosseguir estudos nesta área.

6.3. Limitações

No decorrer deste trabalho detetou-se uma escassez de estudos análogos e aspetos relacionados com a validação dos resultados.

Não foi possível ter um *feedback* do potencial público em virtude do pouco tempo ou da pouca divulgação feita nos meios adequados, para se retirarem daí conclusões que poderiam ser úteis para seguir novas linhas de desenvolvimento.

O pouco domínio do programa *Apophysis 3D Hack* traduziu-se em imagens e vídeos que podem ser considerados básicos se tivermos em conta as capacidades criativas do mesmo.

Outro aspeto tem a ver o limitado poder computacional devido ao equipamento informático utilizado. Para se produzir um vídeo a capacidade de processamento de um computador é levado ao limite. Dependendo da resolução, cada imagem a processar pode levar horas. Resultados de qualidade podem demorar vários dias ou semanas para se alcançarem.

De modo a otimizar os vários elementos e manter a relação entre resolução e capacidade de processamento optou-se por criar vídeos com uma resolução de 640 x 360 pixéis, dois a três minutos de duração e quatro a seis transições visuais.

6.4. Validação e apresentação

A análise quantitativa aqui apresentada baseou-se em tabelas e gráficos e dados fornecidos pelo *Google* através do blogue e canal no *Youtube* desde o início do trabalho até 24 novembro de 2013. No blogue foram criados 233 artigos e disponibilizados 40 vídeos no *Youtube*.

No blogue (<http://galeriafractal.blogspot.pt/>) foram disponibilizadas imagens e vídeos criados desde o início do trabalho. Conforme se pode observar na tabela 2 foram visualizadas 1487 páginas desde a criação.

Tabela 2. Histórico das visualizações no blogue

Visualizações de páginas de hoje	0
Visualizações de página de ontem	0
Visualizações de páginas no último mês	147
Histórico total de visualizações de páginas	1 487

Na tabela seguinte podem observar-se quais os artigos mais visualizados durante este período.

Tabela 3. Artigos mais visualizados no blogue

Entrada	Visualizações de páginas
Caos 05/11/2012	12
Tricorn zoom 06/11/2012	6
Oxidizer 02 17/11/2012	6
Tricorn 06/11/2012	4
circlecaos 26/09/2013	3
Heli 30/09/2013	3
Fractal Animation 22 21/06/2013	3
Cordas 09/10/2013	3
helen 12/10/2013	3
PerfectTube-03 13/09/2013	3

Na tabela 4 verifica-se que a visualização de artigos no blogue é feita essencialmente por utilizadores/observadores dos EUA, seguido de Portugal e Alemanha. Também existem consultas feitas por utilizadores de outros países, mas com menos expressão.

Tabela 4. Países mais representativos na visualização

Entrada	Visualizações de páginas
Estados Unidos	744
Portugal	276
Alemanha	231
Rússia	92
Ucrânia	57
Indonésia	25
Reino Unido	17
Holanda	12
Sérvia	7
China	4

No canal do *Youtube* (http://www.youtube.com/channel/UCiCvEPPtOsJ5-WWOEpp-6_w) foram disponibilizados 40 vídeos. A totalidade de visualizações foi de 366, como demonstra a figura abaixo. A estimativa do tempo gasto na visualização dos vídeos foi de 191 minutos, que perfaz um tempo médio de visualização de cerca de dois minutos por vídeo.



Figura 54 - Visualizações totais e estimativa de minutos

Os dados demonstram que o principal vídeo visualizado até à data foi o “*Fractal Animation 22*”, seguido do “*Fractal Animation 24*” e do “*Fractal Vídeo 12*”, como se constata na tabela seguinte.

Tabela 5. Vídeos mais vistos

Vídeo	Visualizações ↓
Fractal Animation 22	23
Fractal Animation 24	16
Fractal Vídeo 12	16
Fractal Mandelbrot	15
Fractal Vídeo 11	15
Fractal Vídeo 13	14
Fractal Animation 21	14
Fractal Animation 23	13
Fractal Animation 26	13
Fractal Vídeo 7	12

A tabela abaixo mostra que a maior quantidade de visualizações no *Youtube* é feita maioritariamente por utilizadores/observadores de Portugal, seguido dos EUA e Rússia.

Tabela 6. Países com mais visualizações

Geografia	Visualizações ↓
Portugal	186 (51%)
Estados Unidos	60 (16%)
Rússia	18 (4,9%)
Itália	14 (3,8%)
Brasil	10 (2,7%)
Alemanha	9 (2,5%)
Reino Unido	8 (2,2%)
França	7 (1,9%)
Austrália	6 (1,6%)
Polónia	6 (1,6%)
Argentina	6 (1,6%)
Espanha	4 (1,1%)
Canadá	3 (0,8%)
Ucrânia	3 (0,8%)

Deste resumo da validação e apresentação podem retirar-se algumas conclusões. No blogue verificou-se uma pequena quantidade de artigos visualizados. A grande maioria

dos artigos só são visualizados uma ou duas vezes. Também se observa que as consultas são feitas maioritariamente por utilizadores/observadores dos EUA. Durante o período referido apenas se verificou um comentário a um artigo.

No canal do *Youtube* o panorama não é muito diferente. A quantidade de vídeos disponibilizados é menor relativamente às imagens disponibilizadas no blogue. Contudo, verificou-se que existem vídeos que ultrapassaram uma dezena de visualizações. A diferença observada reside no facto de serem os utilizadores/observadores portugueses a visualizarem os vídeos.

Desta validação verifica-se que, ou existe pouco interesse na videoarte fractal, ou à imensa quantidade de videoarte existente na plataforma, que não permite a quantidade de visualizações que seria desejável para fazer uma análise mais aprofundada. No entanto, pode concluir-se que o *Youtube* é a plataforma que permite maior quantidade de visualizações.

6.5. Trabalhos futuros

Este trabalho cingiu-se ao programa *Apophysis 3D Hack* para a realização dos objetivos propostos. No futuro poderia contemplar-se a criação de vídeos com o programa *Mandelbulb 3D*.

Será equacionada a criação de um novo sítio na internet para disponibilizar as melhores imagens e vídeos criados neste trabalho.

No futuro imediato pretende-se melhorar a qualidade das imagens e vídeos, continuando a disponibilizá-los em sítios adequados.

7. CONCLUSÕES

"A Matemática pura é, à sua maneira, a poesia das ideias lógicas"

Albert Einstein (1879 - 1955)

No século III a.C. os conhecimentos geométricos foram sistematizados por Euclides. Ao longo do tempo esta geometria foi solidificada e perdurou até finais do século XVIII quando surgiram outras geometrias. Os estudos das geometrias não Euclidianas acompanhadas do desenvolvimento tecnológico trouxeram novas abordagens aos fenómenos que aconteciam na natureza. Foi a partir destes fenómenos que em meados do século XX o matemático Benoit Mandelbrot desenvolveu estudos que vieram a culminar na geometria fractal.

Durante o trabalho o pensamento matemático mudou, porque a melhor forma de compreender a matemática é aplicá-la, buscando sempre algo que sacie o interesse e a curiosidade. Foi desta forma que a matemática evoluiu. Fomos levados pela inquietude e sede da sua aplicabilidade.

No universo predominam formas irregulares e imperfeitas. Fica evidente que a geometria fractal é melhor para descrever estas formas que a Euclidiana. A geometria fractal apresentou-se de forma a procurar padrões de organização onde se supunha encontrar apenas a desordem.

Considerando a importância que os fractais representam para a sociedade global, procurou-se fazer uma pesquisa baseada na criação de videoarte. O trabalho realizado sobre videoarte fractal leva-nos a crer que a geometria fractal é útil e relevante para outras áreas do conhecimento humano onde se inclui a arte digital, mas não é, nem pode ser encarada como solução para todos os problemas conforme adverte Stewart: "A aplicabilidade dos fractais é ampla, mas não universal. (...) É preciso advertir também que nem todas as aplicações fazem uso do conceito de fractal em sua essência. (...) Há modas

em ciência, e elas acompanham tanto os *slogans* quanto as grandes ruturas” (STEWART, 1991, p.260).

Os ambientes artísticos fractais surgiram em meados dos anos 90 do século XX após o advento da internet. Contudo, as definições de arte fractal ainda não são totalmente aceites. Neste trabalho demonstrámos a aplicabilidade da geometria na criação de arte fractal criada por programas informáticos: a videoarte que é produzida e reproduzida para e pela internet.

Normalmente os espaços de exposição constituem um referencial para localizar a obra de arte digital, que oferece interatividade, virtualidade e imersão, com respostas rápidas em tempo quase real o que permite diferentes formas de expressão e percepção da obra.

Na arte digital as imagens e vídeos que são produzidos não procuram necessariamente expressar o mundo real. Os vídeos podem representar outro mundo que ainda é difícil classificar. Se estivermos diante de uma tela pintada a óleo conseguimos identificá-la enquanto tal. Também conseguimos perceber uma escultura. As imagens e vídeos digitais requerem novos conceitos para serem percebidas e explicadas, porque a matéria não existe. O que está na base da sua criação é o programa de computador que permite a realização de determinadas tarefas ou ações criativas.

As novas tecnologias informáticas permitem a criação de uma grande quantidade de arte digital tornando-a globalizada e efémera.

A criação de uma obra de arte digital leva a um processo de experimentação sucessiva através da necessidade de superação dos resultados anteriormente conseguidos. Trata-se de um processo dinâmico, em que a visão do artista está sempre presente. Existirá sempre algo que nunca está terminado.

Este trabalho teve como objetivo a experimentação e reflexão na criação de videoarte fractal. Também se pretendeu demonstrar o contributo que geometria fractal trouxe à arte digital, bem como a estreita relação que sempre existiu entre a matemática, tecnologia e a arte.

Os resultados alcançados poderiam ter sido melhores do ponto de vista estético. Com outros meios técnicos poderia ter-se alcançado um patamar superior na criação de videoarte.

Na divulgação da videoarte fractal o *Youtube* é atualmente a plataforma que permite maior divulgação e um público mais abrangente.

A arte digital está disponível para quem queira enveredar por este caminho tal como fizeram os artistas tradicionais, contudo, atrás de uma boa obra de arte estará sempre um bom artista!

8. BIBLIOGRAFIA

- ATAIDE, Maria E. M. - O lado perverso da globalização na sociedade da informação. Ci. Inf. 1997, vol.26, n.3. [Consultado em 13-Nov-2013]. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. ISSN 0100-1965
- BARBOSA, Ana Mãe (Org.) – Inquietações e mudanças no ensino da arte. 2ª ed. São Paulo : Cortez, 2003.
- BARNESLEY, Michael F. – Fractals Everywhere. 2ª ed. San Francisco : Morgan Kaufmann, 1993, ISBN 9780120790692.
- BARNESLEY, Michael F., *et al.* – Solution of an inverse problem for fractals and other sets. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 83 (abr. 1986), p.1975-1977. [Consult. 15 abr. 2013]. Disponível na [www:URL< http://www.pnas.org/content/83/7/1975.full.pdf >](http://www.pnas.org/content/83/7/1975.full.pdf).
- BARRALLO, Javier – Arte fractal: las matemáticas más hermosas, *in*: Revista SIGMA. ISSN 0716-3096. Nº 26 (mai. 2005), p.99-115. [Consult. 1 março 2013]. Disponível na [www:URL< http://www.hezkuntza.ejgv.euskadi.net/r43-573/es/contenidos/informacion/dia6_sigma/es_sigma/adjuntos/sigma_26/7_arte_fractal.pdf >](http://www.hezkuntza.ejgv.euskadi.net/r43-573/es/contenidos/informacion/dia6_sigma/es_sigma/adjuntos/sigma_26/7_arte_fractal.pdf).
- BAUMAN, Zygmunt – Vida líquida. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2007, ISBN 9788571109698.
- CAPRA, Fritjof – A teia da vida: Uma nova Compreensão Científica dos Sistemas Vivos. São Paulo: Cultrix, 2006, ISBN 8531605563.
- CARVALHO, M. C. C. S.; SILVA, A. – Fractais: uma breve introdução. 1ª ed. São Paulo : Edição da Faculdade São Judas, 1986.
- COELHO, Regina C. ; COSTA, Luciano da F. – The Box-Counting Fractal Dimension: does it Provide an Accurate Subsidy for Experimental Shape Characterization? If so, how to use it ?, *in*: Anais SIBGRAPI '95: Simpósio Brasileiro de

Computação Gráfica e Processamento de Imagens. ISSN 0302-9743. Nº 8 (1995), p.183-191.

COUCHOT, Edmond – “A segunda interatividade. Em direção a novas práticas artísticas”, *in*: DOMINGUES, Diana (org) – A Arte do séc. XXI: a humanização das tecnologias. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

COUCHOT, Edmond – A tecnologia na arte: da fotografia à realidade virtual. Porto Alegre: Edições UFRGS, 2003.

DOMINGUES, Diana (org.) – A Arte do séc. XXI: a humanização das tecnologias. 4ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 1997. ISBN 8571391602. [Consult. 19 março 2013].Disp. na WWW:URL<<http://books.google.pt/books?id=Gsrc4Ljx2tEC>>.

DOMINGUES, Diana (org.) – Arte, ciência e tecnologia: passado, presente e desafios. 1ª Ed. São Paulo: Editora UNESP, 2009. ISBN 9788571398955

DRAVES, Scott ; RECKASE, Erik – The Fractal Flame Algorithm, 2003, [Em linha]. [Consult. 17 junho 2013]. Disponível na WWW:URL< flam3.com/flame.pdf>.

DRAVES, Scott – Electric Sheep, 2013, [Em linha]. [Consult. 17 junho 2013]. Disponível na WWW:URL< <http://www.electricsheep.org/>>.

ERNST, Bruno – The Magic Mirror of M. C. Escher. England : Tarquin, 1978. ISBN 0906212456.

FARIAS, Elisângela S. – Avaliação breve da compreensão do caos através da teoria dos fractais. Ilhéus: Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), 2003. Monografia

FERNANDES, Jaqueline A. – Fractais: uma nova visão da Matemática. Lavras, Minas Gerais : Centro Universitário de Lavras. 2007. Monografia. 46 f. [Consult. 29 maio 2013]. Disponível na WWW:URL< http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/MATEMATICA/MonografiaFractais.pdf>.

FLUSSER, Vilém – O Universo das Imagens Técnicas - Elogio da Superficialidade. São Paulo: Annablume, 2008

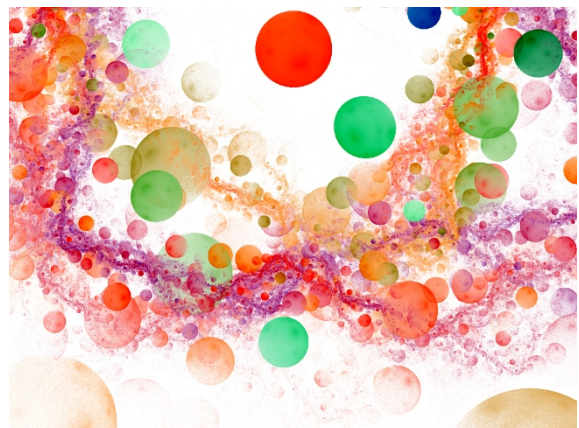
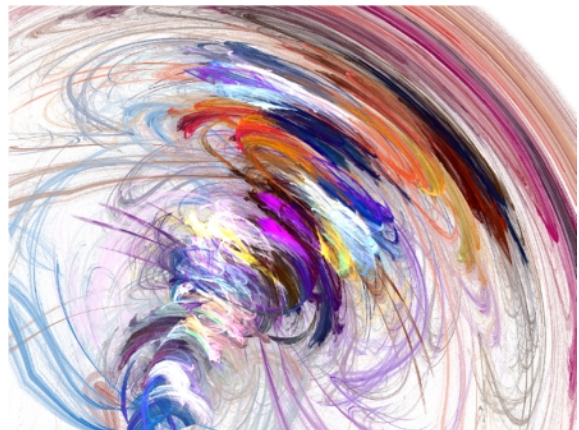
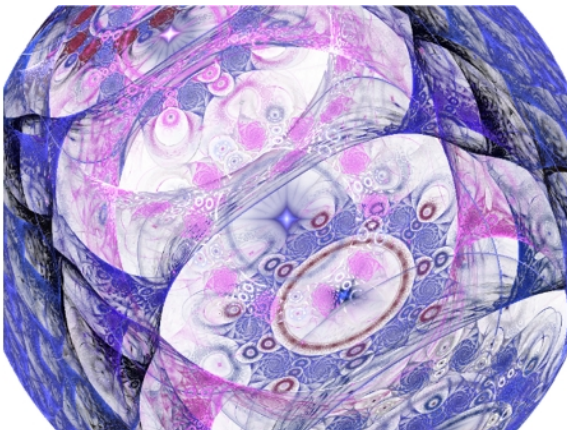
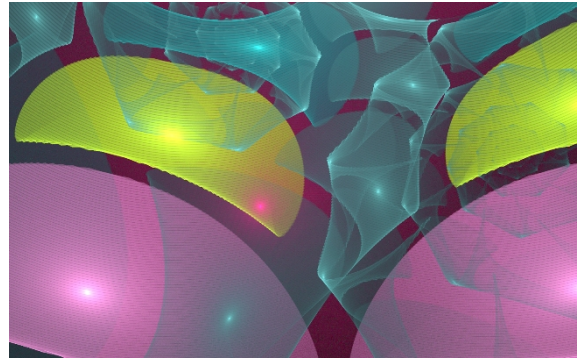
-
- FURTADO, José A. – O Papel e o Pixel. Do impresso ao digital: continuidades e transformações. Florianópolis: Escritório do Livro, 2006
- GIANNETTI, Claudia - Realidades e Mitos da Media Art. *in*: vector [e-zine]. Nº b #08, (dez 2003). [Consult. 20 nov 2013]. Disponível na [www:URL:<http://www.virose.pt/vector/b_08/gianetti.html>](http://www.virose.pt/vector/b_08/gianetti.html)
- GLEICK, James – Caos: a criação de uma nova ciência. Rio de Janeiro : Editora Campus, 1987-1989-1990.
- GRAU, Oliver – Arte virtual: da ilusão à imersão, 1ª ed, São Paulo: UNESP/Senac, 2007, ISBN 9788571397392
- KANDINSKY, Wassily – Do espiritual na arte, e na pintura em particular. 2ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1996. p.27-30
- KUSPIT, Donald - Arte digital y videoarte: transgrediendo los límites de la representación. Madrid: Circulo Bellas Artes, 2006. [Em linha] [Consult. 01-03-13 – 16H00]. Disponível em [www: <http://books.google.pt/books?id=CofW-LsBpsC>](http://books.google.pt/books?id=CofW-LsBpsC). ISBN 8486418607
- LÉVY, Pierre – O que é virtual?. São Paulo: Editora 34, 1996.
- LOCKER, J. L. – The Magic of M. C. Escher. 1ª ed. New York: Harry N. Abrams, 2000, ISBN 9780810967205
- LORENZ, Edward N. – Deterministic Nonperiodic Flow. *In*: Journal of the Atmospheric Science, vol. 20, 1963, p. 130-141
- MACHADO, Arlindo – Arte e Mídia, 1ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora. 2007.
- MACHADO, Arlindo – Anamorfozes cronotópicas ou a quarta dimensão da imagem. *in*: PARENTE, André (org.). Imagem-máquina: A era das tecnologias do virtual. 1ª Reimp. São Paulo : Editora 34, 2008.
- MANDELBROT, Benoit – Objectos Fractais. Lisboa : Gradiva, 2ª ed, 1998, ISBN 9789726622154
- MANDELBROT, Benoit – The Fractal Geometry of Nature. New York : W.H. Freeman and Company, 1983
- MARCOS, Adérito – Instanciando mecanismos de a/r/tografia no processo de criação em
-

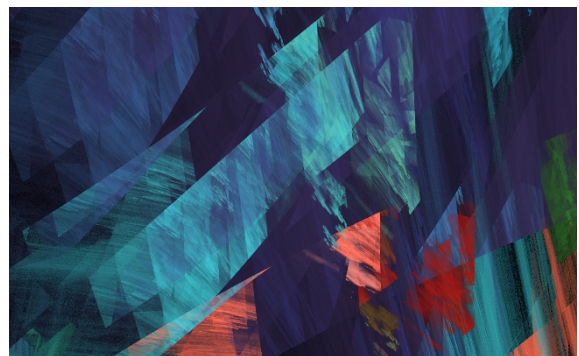
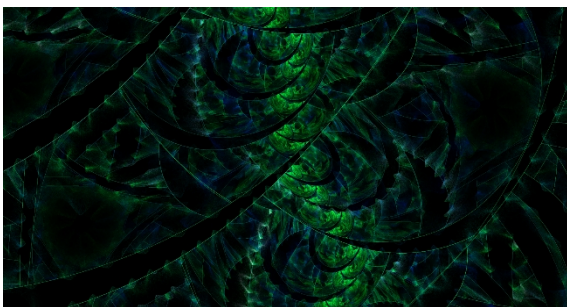
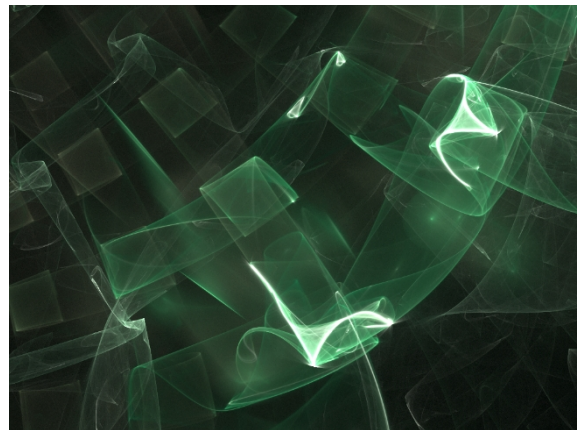
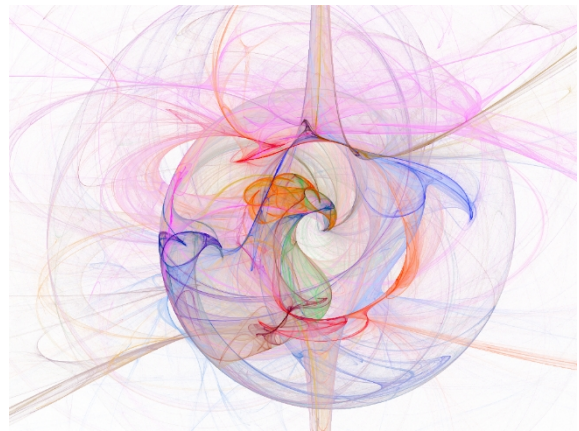
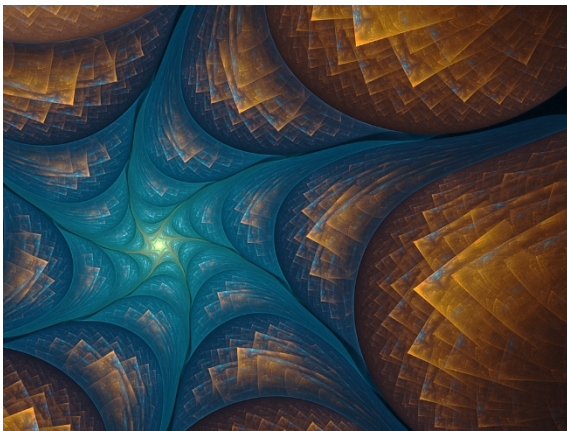
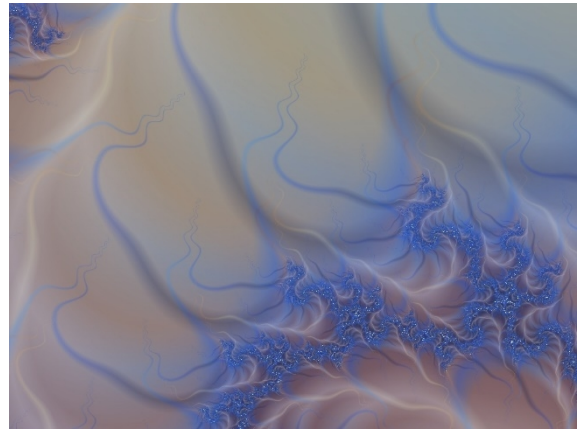
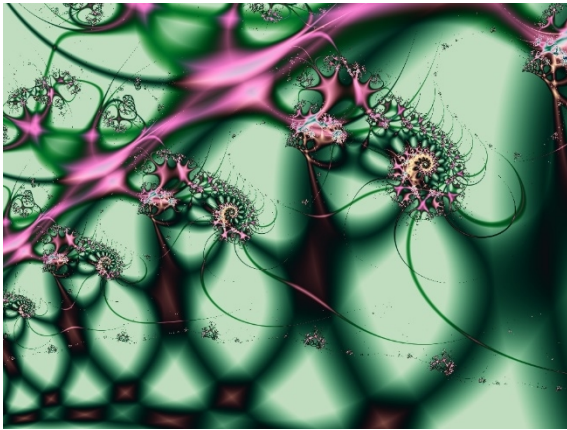
- arte digital/computacional, *in*: Invisibilidades: Revista Iberoamericana de Pesquisa em Educação, Cultura e Artes. ISSN 1647-0508. Vol. 3 (set. 2012), p.138-145.
- MEAKIN, Paul – Formation of Fractal Clusters and Networks by Irreversible Diffusion-Limited Aggregation, *in*: Physical Review Letters, Vol. 51 (set. 1983), Issue 13, p.1119-1122.
- MITCHELL, Kerry – Kerry Mitchell Art [Em linha]. [Consult. 22 Junho 2012 - 20H30]. Disponível na www: <URL: <http://kerrymitchellart.com/>>.
- MITCHELL, Kerry – The Fractal Art Manifesto. 1999. [Em linha]. [Consult. 22 Junho 2012 - 22H00]. Disponível na www: <URL: <https://www.fractalus.com/info/manifesto.htm> >.
- MOISSET, Inés E. – Fractales y formas arquitectónicas. Córdoba (Argentina) : I+P División editorial, 2003. ISBN 9872000522. Disponível na www: <URL: <http://pt.scribd.com/doc/81197563/Fractales-y-Formas-Arquitectonicas>>.
- MURR, Caroline. *et al.* – Fractais: propriedades e construção. Curitiba: Programa de Pós Graduação em Educação, 2008. ISBN 9788561202040. [Em linha]. [Consult. 16 abril 2013 - 21H00]. Disponível na www: <URL: <http://people.ufpr.br/~ewkaras/ic/geralic2003.pdf>>.ou <URL:<http://people.ufpr.br/~ewkaras/ic/geralic2003.pdf>>.
- PALAZZO, Luiz A. M. – Complexidade, Caos e Auto-organização. [Em linha]. [Consult. 02 maio 2013- 21H50]. Disponível na www: <URL:http://algol.dcc.ufla.br/~monserrat/isc/Complexidade_caos_autoorganizacao.html>.
- PARENTE, André (org.) – Imagem Máquina: A era das tecnologias do virtual. 3ª Reimp. São Paulo: Editora 34, 2008. ISBN 8585490276. [Em linha]. [Consult. 03-02-13 - 21H00]. Disponível em www: <<http://books.google.pt/books?id=UtaJMAzzkgoC>>
- PARKER, David ; STACEY, Ralph. – Caos, administração e economia: as implicações do pensamento não-linear. Rio de Janeiro : Instituto Liberal, 1995.

- PEITGEN, Heinz-Otto ; SAUPE, D. (Eds.) – The Science of Fractal Images. New York : Springer-Verlag, 1988. ISBN 0-387-96608-0.
- PENROSE, Roger – The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics. Oxford : Oxford University Press, 1999, p.168 e seg. [Em linha] . [Consult. 03 fev. 13 – 21H00]. Disponível em www: <<http://books.google.pt/books?id=iW8hyHwixtIC>>
- POINCARÉ, Henri – Science and Hypothesis. New York : Walter Scott Pub. Co, 1903
- PRADO, Gilberto - Estudo e criação dos sites de arte na rede Internet. *In: Anais do IX Encontro Nacional da ANPAP – Associação Nacional dos Pesquisadores em Artes Plásticas*. São Paulo: ANPAP, 1997. Vol. 2 (1997), pp.296-204.
- QUÉAU, Philippe – La planète des esprits: Pour une politique du cyberspace. Paris : Odile Jacob, 2000, ISBN 9782738109095.
- QUÉAU, Philippe – O Tempo do Virtual. *In: PARENTE, Andrade (org). Imagem Máquina – A era das Tecnologias do Virtual*. 3ª Reimp. Editora 34: São Paulo, 2008. (p.91 a 99)
- SANTANA, Mirian B. – Geometria e educação infantil: uma relação possível e necessária. Salvador (Bahia) : Universidade do Estado da Bahia, 2008. Dissertação de Mestrado.
- STEWART, Ian – Deus Joga aos Dados?. Lisboa : Gradiva, 1991, ISBN 9789726622246.
- TAYLOR, Richard. P. – Ordem no caos de Jackson Pollock. *in: Scientific American Brasil*. Vol. 8 (jan. 2003), p.84-89.
- THOMPSON, John – A mídia e a modernidade: uma teoria social da mídia. Petrópolis : Vozes, 2002
-

9. ANEXOS

ANEXO A - Várias figuras fractais criadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.





ANEXO B - Código do *script* de Giovanni Rubaltelli utilizado no programa *Apophysis 3D Hack* para criação das transições e *morphing* dos vídeos.

```
{
RenderFlam3 v 1.3.11
by Exper Giovanni Rubaltelli - http://exper.3drecursions.com
Email: exper@3drecursions.com

Released under GPL License - http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html
see the file COPYING for the license covering this software.
Credits or donations are not mandatory but very appreciated especially when using "RenderFlam3" in commercial production.

RenderFlam3 main pourpouse is rendering a sequence of Flames using Flam3 to create animations.
It's an Apophysis script which cycles through the flames in the Title Window,
sets their time field,
sets thier advanced animation tags
saves them all off to a single flame file.
and them creates a bat file (to the same output path).
Executing the bat file will launch flam3-animate and render the animation's frames (Flam3 will interpolate all the flames).

It needs
Flam3 2.7.15 or newer
and can be used on
Apophysis 2.09, Apophysis 2.08 beta,
Apophysis 2.08 beta2, Apophysis 2.07 beta,
Apophysis 2.06c beta, Apophysis 2.06 beta,
Apophysis 2.06 beta Z+, Apophysis 2.06c 3D hack
and newer versions

Supported Variatons:
linear, sinusoidal, spherical, swirl, horseshoe, polar,
handkerchief, heart, disc, spiral, hyperbolic, diamond,
ex, julia, bent, waves, fisheye, popcorn, exponential,
power, cosine, rings, fan, blob, pdj, fan2, rings2,
eyefish, bubble, cylinder, perspective, noise, julian,
julascope, blur, gaussian_blur, radial_blur, pie, ngon,
curl, rectangles, arch, tangent, square, rays, blade,
twintrian, cross, disc2, super_shape, flower,
conic, parabola.
Flam3 2.8 Beta6 also supports:
bent2, bipolar, boarders, butterfly, cell, cpow, curve,
edisc, elliptic, escher, foci, lazysusan, loonie, pre_blur,
modulus, oscilloscope, polar2, popcorn2, scry, separation,
split, splits, stripes, wedge, wedge_julia, wedge_sph,
whorl, waves2, auger, cos, cosh, cot, coth, csc, csch,
exp, log, sec, sech, sin, sinh, tan, tanh, flux.

Usage: see the README.TXT file for the usage and the documentation.
Based on
AnimateToFlam3 by Thomas Williams 4/20/2006
pbAnimate by Piotr Borys

Thanks to Erik Reckase, Piotr Borys, Thomas Williams, Bill Smith, Fred E., Joe G. and Tom Hendriks for their valuable support.
}

//
// Script parameters
//

{
Flam3 install path
Change it to force RenderFlam3 to use the specified path
Examples
flam3path:='c:\flam3\';
flam3path:='c:\flam3-2.7.18';
}
flam3path:='';

// 3D Hack hints - set to 0 for no hints
h3d:=1;

// Activates advanced Flam3 options by default
fadv:=1;
```

```

outputPath := 'c:\anim\';
w := 752;
h := 564;
q := 500;
ffilter := 1;
o := 2;
t := 0;
ba := 60;
alooop := 1;
fscale := 0;
fzoom := 0;
szcopy := 0;
cfl := 0;
KeyDuration := 100;
atype := 0;
fim:=1;
mpas:=1;
er:=5;
em:=0;
ec:=0.6;
gtr:=0.01;
fsh:=4;
stp:=1;
pstp:=0;
ispace:=1;
hpower:=-1;
stagger:=0;

batches := 1;
flameName := flame.name;
fshape := ['bell', 'blackman', 'box', 'bspline', 'gaussian', 'hamming', 'hanning', 'hermite', 'mitchell', 'quadratic', 'triangle'];
tftypem := ['box', 'gaussian', 'exp'];
ispacem := ['linear', 'log', 'old', 'older'];
cver:='RenderFlam3 1.3.11';

//
// Preview parameters
//
pSampleDensity:=5;
pOversample:=1;
pFilterRadius:=0.4;

apov:=ProgramVersionString;
print('Apophysis version: '"+ apov +"'");
print("");
if (apov='Apophysis 2.07 beta') then apov:=1;
else if (apov='Apophysis 2.06c 3D hack') then
begin
  if(h3d=1) then ShowMessage('Flam3 doesn't support
Apophysis 2.06c 3D Hack specific 3D properties!');
  apov:=1;
end;
else
begin
  apot:=apov[11];
  apot:=StrToInt(apot);
  if(apot>2) then apov:=1;
  else if(apot=2)then
  begin
    apot:=apov[13];
    apot:=StrToInt(apot);
    if(apot>0) then apov:=1;
  else
  begin
    apot:=apov[14];
    apot:=StrToInt(apot);
    if(apot>=8) then apov:=1;
  end;
end;
if(apov<>1) then
begin
  ShowMessage('Unsupported Apophysis version.
Currently supported version is: Apophysis 2.06c beta');
  exit;
end;
end;

ShowStatus(cver + ' - Initialization!');

```

```

print(cver + ' - Initialization!');
print("");

//
// Flam3 version check
//

if (flam3path="" then flam3path:=ExtractFilePath(Options.ExportRenderer);

flam3v:="";
flam3n:=0;
flam3c:=6;
flam3t:=20;
flam3s:="";
if FileExists(flam3path + 'flam3-animate.exe') then
begin
if FileExists(flam3path + 'flam3-genome.exe') then
begin
if FileExists(flam3path + 'pthreadgc2.dll') then
begin
if FileExists(flam3path + 'README.txt') then
begin
Settings:=TStringList.Create;
inil:=1;
init:="";
inis:="";
Settings.LoadFromFile(flam3path + 'README.txt')
begin
while init<>'07/21/08 Add configuration option for atomic-ops. bug fix: do not' do
begin
inc(inil);
init:=Settings.Strings[inil];
cpos:=0;
while init[cpol]<>" do inc(cpos);

for xv:=0 to 8 do
begin
inis[xv]:=init[xv];
end;
inc(xv);
inis[xv]:="";
msg:="";
if(inis='10/05/10') then flam3v='3000';
else if(inis='12/20/09') then flam3v='2800';
else if(inis='11/24/09') then msg:='beta6';
else if(inis='10/16/09') then msg:='beta5';
else if(inis='10/07/09') then msg:='beta4';
else if(inis='10/03/09') then msg:='beta3';
else if(inis='09/19/09') then msg:='beta2';
else if(inis='03/18/09') then msg:='beta1';
else if(inis='07/03/09') then flam3v='2719';
else if(inis='03/17/09') then flam3v='2718';
else if(inis='11/11/08') then flam3v='2717';
else if(inis='09/06/08') then flam3v='2716';
else if(inis='08/25/08') then flam3v='2715';
if(msg<>"") then
begin
ShowMessage('You're using Flam3 2.8 '+ msg +'!#13#10'RenderFlam3 supports Flam3 2.8 beta7'#13#10#13#10'Download latest Flam3 beta
at'#13#10'https://dl.dropbox.com/u/108435/flam3-2.8-beta7.zip'#13#10'or'#13#10'check "Export renderer" in Apophysis -> Options ->
Paths'#13#10'and select the path to flam3-render.exe file!');
exit;
end;

if (flam3v='2800') or (flam3v='2719') or (flam3v='2718') or (flam3v='2717') or (flam3v='2716') or (flam3v='2715') then break;

if ((init[cpol-15]='R') or (init[cpol-15]='r')) and (init[cpol-14]='e') and (init[cpol-13]='l') and (init[cpol-12]='e') and (init[cpol-11]='a') and (init[cpol-10]='s') and (init[cpol-9]='e') then
begin
flam3v:=init[cpol-4]+init[cpol-2]+'00';
break;
end;
if ((init[cpol-18]='R') or (init[cpol-18]='r')) and (init[cpol-17]='e') and (init[cpol-16]='l') and (init[cpol-15]='e') and (init[cpol-14]='a') and (init[cpol-13]='s') and (init[cpol-12]='e') then
begin
flam3v:=init[cpol-7]+init[cpol-5]+init[cpol-3]+init[cpol-2];
break;
end;
else if ((init[cpol-17]='R') or (init[cpol-17]='r')) and (init[cpol-16]='e') and (init[cpol-15]='l') and (init[cpol-14]='e') and (init[cpol-13]='a') and

```



```

begin
ostr:=ostr+flameName[slen];
end;
flameName:=ostr;

if(FileCount>1) then
begin
if not InputQuery(cver, 'Animation Type:
0 = Morph
1 = Sheep
2 = Sheep Edges
-----
3 = Morph - No Flames check
4 = Sheep - No Flames check
5 = Sheep Edges - No Flames check', atype) then exit;
if(atype<0) and (atype>5) then atype:=0;
end;
else
begin
if not InputQuery(cver, 'Single Flame Animation Type:
1 = Sheep
-----
4 = Sheep - No Flames check', atype) then exit;
if(atype<>1) and (atype<>4) then atype:=1;
end;

msg:="";
ssh:=0;
if(apov>0) and (atype<3) then
begin
for fl := 0 to FileCount-1 do
begin
LoadFlame(fl);
ShowStatus('Checking Flame '+IntToStr(fl)+'/'+IntToStr(FileCount-1));
for i := 0 to Transforms do
begin
SetActiveTransform(i);
with Transform do
begin

cchaos:=0;
if (flam3v<'2800') then
begin
for xv:=0 to Transforms-1 do
begin
if (transform.chaos[xv]<>1) then cchaos:=1;
break;
end;
if (cchaos=1) then
begin
ShowMessage('Flam3 ' + flam3s + ' don't support Transforms Chaos!#13#10"#13#10'Download a newer Flam3 version - http://flam3.com/');
exit;
end;
end;
end;

for xv:=0 to NVARs-1 do
begin
if (variationname(xv)='secant') and (flam3v>='2710') then
begin
if (variation[xv]<>0) then
begin
ssh:=ssh+1;
if (ssh>1) then msg:=msg + ' and ' + flame.name + ' ' ;
else msg:=msg + ' ' + flame.name + ' ' ;
end;
end;
if (flam3v<='2719') then
begin
if (variationname(xv)<>'linear') and (variationname(xv)<>'sinusoidal') and (variationname(xv)<>'spherical')
and (variationname(xv)<>'swirl') and (variationname(xv)<>'horseshoe') and (variationname(xv)<>'polar')
and (variationname(xv)<>'handkerchief') and (variationname(xv)<>'heart') and (variationname(xv)<>'disc')
and (variationname(xv)<>'spiral') and (variationname(xv)<>'hyperbolic') and (variationname(xv)<>'diamond')
and (variationname(xv)<>'ex') and (variationname(xv)<>'julia') and (variationname(xv)<>'bent')
and (variationname(xv)<>'waves') and (variationname(xv)<>'fisheye') and (variationname(xv)<>'popcorn')
and (variationname(xv)<>'exponential') and (variationname(xv)<>'power') and (variationname(xv)<>'cosine')
and (variationname(xv)<>'rings') and (variationname(xv)<>'fan') and (variationname(xv)<>'blob')
and (variationname(xv)<>'pdj') and (variationname(xv)<>'fan2') and (variationname(xv)<>'rings2')
and (variationname(xv)<>'eyefish') and (variationname(xv)<>'bubble') and (variationname(xv)<>'cylinder')

```

```

and (variationname(xv)<>'perspective') and (variationname(xv)<>'noise') and (variationname(xv)<>'julian')
and (variationname(xv)<>'juliascope') and (variationname(xv)<>'blur') and (variationname(xv)<>'gaussian_blur')
and (variationname(xv)<>'radial_blur') and (variationname(xv)<>'pie') and (variationname(xv)<>'ngon')
and (variationname(xv)<>'curl') and (variationname(xv)<>'rectangles') and (variationname(xv)<>'arch')
and (variationname(xv)<>'tangent') and (variationname(xv)<>'square') and (variationname(xv)<>'rays')
and (variationname(xv)<>'blade') and (variationname(xv)<>'secant') and (variationname(xv)<>'twintrian')
and (variationname(xv)<>'cross') and (variationname(xv)<>'disc2') and (variationname(xv)<>'super_shape')
and (variationname(xv)<>'flower') and (variationname(xv)<>'conic') and (variationname(xv)<>'parabola')
then
begin
  if(variation[xv]<>0) then
  begin
    ShowMessage('Flame "' + flame.name + '" contain "' + variationname(xv) + '" variation.
Flam3 ' + flam3s + ' doesn"' + 't support this variation!');
    exit;
  end;
end;
end;
else
begin
  if (variationname(xv)<>'linear') and (variationname(xv)<>'sinusoidal') and (variationname(xv)<>'spherical')
  and (variationname(xv)<>'swirl') and (variationname(xv)<>'horseshoe') and (variationname(xv)<>'polar')
  and (variationname(xv)<>'handkerchief') and (variationname(xv)<>'heart') and (variationname(xv)<>'disc')
  and (variationname(xv)<>'spiral') and (variationname(xv)<>'hyperbolic') and (variationname(xv)<>'diamond')
  and (variationname(xv)<>'ex') and (variationname(xv)<>'julia') and (variationname(xv)<>'bent')
  and (variationname(xv)<>'waves') and (variationname(xv)<>'fisheye') and (variationname(xv)<>'popcorn')
  and (variationname(xv)<>'exponential') and (variationname(xv)<>'power') and (variationname(xv)<>'cosine')
  and (variationname(xv)<>'rings') and (variationname(xv)<>'fan') and (variationname(xv)<>'blob')
  and (variationname(xv)<>'pdj') and (variationname(xv)<>'fan2') and (variationname(xv)<>'rings2')
  and (variationname(xv)<>'eyefish') and (variationname(xv)<>'bubble') and (variationname(xv)<>'cylinder')
  and (variationname(xv)<>'perspective') and (variationname(xv)<>'noise') and (variationname(xv)<>'julian')
  and (variationname(xv)<>'juliascope') and (variationname(xv)<>'blur') and (variationname(xv)<>'gaussian_blur')
  and (variationname(xv)<>'radial_blur') and (variationname(xv)<>'pie') and (variationname(xv)<>'ngon')
  and (variationname(xv)<>'curl') and (variationname(xv)<>'rectangles') and (variationname(xv)<>'arch')
  and (variationname(xv)<>'tangent') and (variationname(xv)<>'square') and (variationname(xv)<>'rays')
  and (variationname(xv)<>'blade') and (variationname(xv)<>'secant') and (variationname(xv)<>'twintrian')
  and (variationname(xv)<>'cross') and (variationname(xv)<>'disc2') and (variationname(xv)<>'super_shape')
  and (variationname(xv)<>'flower') and (variationname(xv)<>'conic') and (variationname(xv)<>'parabola')
  and (variationname(xv)<>'split') and (variationname(xv)<>'move') and (variationname(xv)<>'bent2')
  and (variationname(xv)<>'bipolar') and (variationname(xv)<>'boarders') and (variationname(xv)<>'butterfly')
  and (variationname(xv)<>'cell') and (variationname(xv)<>'cpow') and (variationname(xv)<>'curve')
  and (variationname(xv)<>'edisc') and (variationname(xv)<>'elliptic') and (variationname(xv)<>'escher')
  and (variationname(xv)<>'foci') and (variationname(xv)<>'lazysusan') and (variationname(xv)<>'loonie')
  and (variationname(xv)<>'pre_blur') and (variationname(xv)<>'modulus') and (variationname(xv)<>'oscilloscope')
  and (variationname(xv)<>'polar2') and (variationname(xv)<>'popcorn2') and (variationname(xv)<>'scry')
  and (variationname(xv)<>'separation') and (variationname(xv)<>'split') and (variationname(xv)<>'splits')
  and (variationname(xv)<>'stripes') and (variationname(xv)<>'wedge') and (variationname(xv)<>'wedge_julia')
  and (variationname(xv)<>'wedge_sph') and (variationname(xv)<>'whorl') and (variationname(xv)<>'waves2')
  and (variationname(xv)<>'auger') and (variationname(xv)<>'cos') and (variationname(xv)<>'cosh')
  and (variationname(xv)<>'cot') and (variationname(xv)<>'coth') and (variationname(xv)<>'csc')
  and (variationname(xv)<>'csc') and (variationname(xv)<>'exp') and (variationname(xv)<>'log')
  and (variationname(xv)<>'sec') and (variationname(xv)<>'sech') and (variationname(xv)<>'sin')
  and (variationname(xv)<>'sinh') and (variationname(xv)<>'tan') and (variationname(xv)<>'tanh')
  and (variationname(xv)<>'flux')
  then
  begin
    if(variation[xv]<>0) then
    begin
      ShowMessage('Flame "' + flame.name + '" contain "' + variationname(xv) + '" variation.
Flam3 ' + flam3s + ' doesn"' + 't support this variation!');
      exit;
    end;
  end;
end;
end;
end;
end;
end;

if(msg<>'') then ShowMessage('Flame' + msg + 'contain Secant variation.

Apo and Flam3 ' + flam3s + ' could render these flames differently!');
msg:="";

LoadFlame(0);
SetActiveTransform(0);
with Transform do

```

```
begin
radial_blur_angle:=0;
rings2_val:=0;
fan2_x:=0;
fan2_y:=0;
blob_low:=0;
blob_high:=0;
blob_waves:=0;
pdj_a:=0;
pdj_b:=0;
pdj_c:=0;
pdj_d:=0;
perspective_angle:=0;
perspective_dist:=0;
julian_power:=0;
julian_dist:=0;
juliascope_power:=0;
juliascope_dist:=0;
curl_c1:=0;
curl_c2:=0;
move_x:=0;
move_y:=0;
ngon_sides:=0;
ngon_power:=0;
ngon_circle:=0;
ngon_corners:=0;
disc2_rot:=0;
disc2_twist:=0;
rectangles_x:=0;
rectangles_y:=0;
super_shape_m:=0;
super_shape_n1:=0;
super_shape_n2:=0;
super_shape_n3:=0;
super_shape_rnd:=0;
super_shape_holes:=0;
flower_petals:=0;
flower_holes:=0;
conic_eccentricity:=0;
conic_holes:=0;
parabola_height:=0;
parabola_width:=0;
pie_slices:=0;
pie_thickness:=0;
pie_rotation:=0;
split_xsize:=0;
split_ysize:=0;
disc2_rot:=0;
disc2_twist:=0;
conic_eccentricity:=0;
conic_holes:=0;
parabola_height:=0;
parabola_width:=0;
// Flam3 2.8 betas Variations
bent2_x:=0;
bent2_y:=0;
bipolar_shift:=0;
cell_size:=0;
cpow_r:=0;
cpow_i:=0;
cpow_power:=0;
curve_xamp:=0;
curve_yamp:=0;
curve_xlength:=0;
curve_ylength:=0;
escher_beta:=0;
lazysusan_spin:=0;
lazysusan_space:=0;
lazysusan_twist:=0;
lazysusan_x:=0;
lazysusan_y:=0;
modulus_x:=0;
modulus_y:=0;
oscope_separation:=0;
oscope_frequency:=0;
oscope_amplitude:=0;
oscope_damping:=0;
popcorn2_x:=0;
```

```

popcorn2_y:=0;
popcorn2_c:=0;
separation_x:=0;
separation_y:=0;
separation_xinside:=0;
separation_yinside:=0;
split_xsize:=0;
split_ysize:=0;
splits_x:=0;
splits_y:=0;
stripes_space:=0;
stripes_warp:=0;
wedge_angle:=0;
wedge_hole:=0;
wedge_count:=0;
wedge_swirl:=0;
wedge_julia_angle:=0;
wedge_julia_count:=0;
wedge_julia_power:=0;
wedge_julia_dist:=0;
wedge_sph_angle:=0;
wedge_sph_hole:=0;
wedge_sph_count:=0;
wedge_sph_swirl:=0;
whorl_inside:=0;
whorl_outside:=0;
waves2_scalex:=0;
waves2_scaley:=0;
waves2_freqx:=0;
waves2_freqy:=0;
auger_sym:=0;
auger_weight:=0;
auger_freq:=0;
auger_scale:=0;
flux_spread:=0;
// NO - circlize
end;

//
//
// Script parameters
//

crot:=0;
if(FileCount>1) then
begin
if not InputQuery(cver, 'Global Camera Rotation:
0 = No Rotation
< 0 = Clockwise Rotation
> 0 = Anticlockwise Rotation', crot) then exit;
end;

if not InputQuery(cver, 'Render Width:', w) then exit;
if(w<=0) then w:=752;

LoadFlame(0);
mar := w / flame.Width;
h:=flame.Height * mar;

if not InputQuery(cver, 'Render Height:', h) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Render Quality:', q) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Filter Radius:', ffilter) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Oversample:', o) then exit;
pngt:=0;

jpgq:=Options.JPEGQuality;
if not InputQuery(cver, 'Output File Format
0 = jpg/jpeg - Apophysis Options quality
1 = jpg/jpeg - User quality
2 = png
3 = png + Transparency
4 = png 16bit
5 = png 16bit + Transparency
6 = ppm', t) then exit;
if(t<0)and(t>6) then t:=0;
if(t=0) then t:='jpg';
else if(t=1) then
begin

```

```

t:='jpg';
if not InputQuery(cver, 'JPEG Quality (60 -> 120):', jpgq) then exit;
if (jpgq<60) then jpgq:=60;
else if (jpgq>120) then jpgq:=120;
end;
else if(t=2) then t:='png';
else if(t=3) or (t=5) then
begin
if(t=5) then png16b:=1;
t:='png';
pngt:=1;
end;
else if(t=4) then
begin
t:='png';
png16b:=1;
end;
else if(t=6) then t:='ppm';

if not InputQuery(cver, 'Number of frames per animation stage:', KeyDuration) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 "Motion Blur" amount:', ba) then exit;

if not InputQuery(cver, 'Flam3 Advanced Parameters: 0 = No - 1 = Yes', fadv) then exit;
if(fadv=1) then
begin
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Interpolation mode:
Linear = 0
Smooth '+'('+Spline'+)'+ ' = 1', fim) then exit;
if(flam3v>='2707') and (flam3v<='2714') then
begin
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Interpolation Space:
Linear = 0
Log = 1 (needs Flam3 2.7.7 or newer)', ispace) then exit;
end;
else if(flam3v>='2715') then
begin
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Interpolation Space:
Linear = 0
Log = 1 (needs Flam3 2.7.7 or newer)
Old = 2 (needs Flam3 2.7.15 or newer)
Older = 3 (needs Flam3 2.7.15 or newer)', ispace) then exit;
end;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Estimator Radius amount: ', er) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Estimator Minimum amount: ', em) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Estimator Curve amount: ', ec) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Gamma Threshold amount: ', gtr) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Filter Shape:
bell = 0 - blackman = 1 - box = 2 - bspline = 3
gaussian = 4 - hamming = 5 - hanning = 6
hermite = 7 - mitchell = 8 - quadratic = 9
triangle = 10', fsh) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 "Motion Blur" passes:', mpas) then exit;

if(flam3v>='2714') then
begin
tftype:=0;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Temporal filter Type:
NONE = -1 | box = 0 | gaussian = 1 | exp = 2', tftype) then exit;
if (tftype<-1) then tftype:=-1;
else if (tftype>2) then tftype:=2;
tfwidth:=1;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Temporal Filter Width: ', tfwidth) then exit;
tfexp:=0;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Temporal Filter Exp: ', tfexp) then exit;
end;

if(flam3v>='2718') then
begin
pmode:=0;
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Palette Mode: '#13#10'0 = Step'#13#10'1 = Linear - Flam3 2.7.18', pmode) then exit;
end;

if(flam3v>='2800') then
begin
if not InputQuery(cver, 'Flam3 Highlight_power value: '#13#10'-1 = Flam3 2.7 compliant rendering'#13#10'>0 = activate it (Flam3 2.8 or newer)',
hpower) then exit;
if (hpower<-1) then hpower:=-1;

```

```

if not InputQuery(cver, 'Flam3 Stagger value: '#13#10'0 = Flam3 2.7 compliant motion'#13#10'>0 = activate it (Flam3 2.8 or newer)', stagger) then
exit;
if (stagger<0) then stagger:=0;
end;

if not InputQuery(cver, 'Add Padding XForm:
0 = No
1 = PostXForm and FinalXForm
2 = PostXForm
3 = FinalXForm', cfl) then exit;
if (cfl<0) then cfl:=0;
else if (cfl>3) then cfl:=3;
end;

if not InputQuery(cver, 'Transfer MasterScale/Zoom values:
0 = No
1 = First Flame', szcopy) then exit;

if(FileCount>1) then
begin
if not InputQuery(cver, 'Animation Loop: 0=No - 1=Yes', aloop) then exit;
end;

{ if not InputQuery(cver, 'Transfer MasterScale/Zoom values:
0 = No
1 = First Flame
2 = Median', szcopy) then exit;
if not InputQuery(cver, 'Animation Loop: 0=No - 1=Yes', aloop) then exit; }

//
// STEP parameters
//
smax:=0;
zmax:=0;
InputQuery(cver, 'Frame Step:', stp);
if (stp<=1) then
begin
stp:=1;
pstp:=0;
end;
else
begin
InputQuery(cver, 'Progressive Steps: 0 = No - 1 = Yes', pstp);
if(pstp<0) then pstp:=0;
else if(pstp>1) then pstp:=1;
end;

//
// "RAW-Write Flame" setup and writing
//

flam3path := Trim(flam3path);
outputpath := Trim(outputPath);

print('Saving to ' + outputpath + flameName + '.flame');
ShowStatus('Saving to ' + outputpath + flameName + '.flame');

fxcheck:=0;
fxpcheck:=0;
if(cfl<>0) or (szcopy=2) then
begin
for fl := 0 to FileCount-1 do
begin
LoadFlame(fl);
if(cfl=1) or (cfl=2) then
begin
for i := 0 to NXFORMS - 1 do
begin
SetActiveTransform(i);
tpost:=0;
with Transform do
begin
if(post[0,0]<>1) or (post[0,1]<>0) or (post[1,0]<>0)
or (post[1,1]<>1) or (post[2,0]<>0) or (post[2,1]<>0) then tpost:=1;
if (tpost=1) then tpcheck:=1;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

tpost:=0;
if(cfl=1) or (cfl=3) then
begin
SetActiveTransform(Transforms);
with Transform do
begin
if(a=1) and (b=0) and (c=0) and (d=1) and (e=0) and (f=0) and (variation[0]=1) then tpost:=1;
if(tpost=1) then
begin
for nvar:=1 to NVARs - 1 do
begin
if variation[nvar]<>0 then
begin
tpost:=2;
break;
end;
else tpost:=0;
end;
end;
else tpost:=2;
if(tpost=2) then fxcheck:=1;
tpost:=0;
if(post[0,0]<>1) or (post[0,1]<>0) or (post[1,0]<>0)
or (post[1,1]<>1) or (post[2,0]<>0) or (post[2,1]<>0) then tpost:=1;
if(tpost=1) then fxpcheck:=1;
end;
end;
if(szcoppy=2) then
begin
smax:=smax+flame.Scale;
zmax:=zmax+flame.Zoom;
end;
end;
if(szcoppy=2) then
begin
smax:=smax/(FileCount);
zmax:=zmax/(FileCount);
end;
end;
tpost:=0;

FileList := TStringList.Create;
FileList.Add('<'Flames name="Generated by ' + cver + ' - exper.3drecursions.com">');

if(crot<>0) then
begin
if(aloop=1) then csrot:=crot/FileCount;
else csrot:=crot/(FileCount-1);
csrot:=-csrot;
end;

acsrot:=0;

for fl := 0 to FileCount do
begin
if(fl=FileCount) and (alooop=0) then break;
if(fl=FileCount) and (alooop=1) then brkl:=1;

tpost:=0;
if (fl<FileCount) then LoadFlame(fl);
else if (fl=FileCount) and (alooop=1) then LoadFlame(0);
flame.SampleDensity := pSampleDensity;
flame.Oversample := pOversample;
flame.FilterRadius := pFilterRadius;
// if(atype<3) and (FileCount>1) then Preview;
oScale:=flame.Scale;
flame.Width := w;
flame.Height := h;
SetRenderBounds;
flame.SampleDensity := q;
flame.Oversample := o;
flame.FilterRadius := ffilter;
flame.Batches := ba;
if(brkl<>1) then flame.time := fl * KeyDuration;
else flame.time := FileCount * KeyDuration;

newFlameName := flameName + '_' + intToStr(fl);
if(alooop=1) then

```

```

begin
print(IntToStr(fl)+ '/' + IntToStr(FileCount) + ' - Saving ' + newFlameName + ' - Frame: ' + intToStr(flame.time));
ShowStatus(IntToStr(fl)+ '/' + IntToStr(FileCount) + ' - Saving ' + newFlameName + ' - Frame: ' + intToStr(flame.time));
end;
else
begin
print(IntToStr(fl)+ '/' + IntToStr(FileCount-1) + ' - Saving ' + newFlameName + ' - Frame: ' + intToStr(flame.time));
ShowStatus(IntToStr(fl)+ '/' + IntToStr(FileCount-1) + ' - Saving ' + newFlameName + ' - Frame: ' + intToStr(flame.time));
end;

// flame.name := newFlameName;

{ raw flame write}
with flame do
begin
if(szcop=1) then
begin
if(fl=0) then
begin
nScale:=oScale / 100 * flame.Width;
fScale:=nScale;
fZoom:=Flame.zoom;
end;
else
begin
flame.scale := fScale;
flame.zoom := fZoom;
end;
end;
else if(szcop=2) then
begin
nScale:=smax / 100 * flame.Width;
fScale:=nScale;
fZoom:=zmax;
end;
else if(szcop=0) then
begin
nScale:=oScale / 100 * flame.Width;
fZoom:=Flame.Zoom;
end;
if(fl<FileCount) then data:='

```

```

end;
else data:= data + ' rotate=' + FloatToStr(-(RadToDeg(Flame.Angle))) + '';
end;
if(flam3n<1) then data:= data + ' oversample=' + IntToStr(oversample) + '';
else data:= data + ' supersample=' + IntToStr(oversample) + '';
data:= data + ' filter=' + FloatToStr(FilterRadius) + '';
if(fsh>=0) then data:= data + ' filter_shape=' + fshape[fsh] + '';

if(flam3v>='2714') then
begin
if(tftype>=0) then
begin
data:= data + ' temporal_filter_type=' + tftypem[tftype] + '';
if(tfwidth<>0) then data:= data + ' temporal_filter_width=' + FloatToStr(tfwidth) + '';
if(tfexp<>0) then data:= data + ' temporal_filter_exp=' + FloatToStr(tfexp) + '';
end;
end;

data:= data + ' quality=' + FloatToStr(SampleDensity) + ''
if(flam3v='2.6') then data:= data + ' batches=' + IntToStr(ba) + '';
else
begin
if(mpas=1) then data:= data + ' passes=' + IntToStr(mpas) + ' temporal_samples=' + IntToStr(ba) + '';
else data:= data + ' passes=' + IntToStr(mpas) + ' temporal_samples=' + IntToStr(ba) + '';
end;
data:= data + ' background=' + FloatToStr(background[0]/255) + ' ' + FloatToStr(background[1]/255) + ' ' + FloatToStr(background[2]/255) + ''
brightness=' + FloatToStr(brightness) + ' ' + gamma=' + FloatToStr(gamma) + ' ' + vibrancy=' + FloatToStr(vibrancy) + '';
if(ba>0) then data:= data + ' estimator_radius=' + FloatToStr(er) + ' ' + estimator_minimum=' + FloatToStr(em) + ' ' + estimator_curve=' +
FloatToStr(ec) + '';
if(gtr>=0) then data:=data + ' gamma_threshold=' + FloatToStr(gtr) + '';
if(flam3v>='2718') then
begin
if(pmode=0) then data:=data + ' palette_mode="step"';
else data:=data + ' palette_mode="linear"';
end;
if(flam3v>='2800') then data:=data + ' highlight_power=' + FloatToStr(hpower) + '';
data:=data + ' >';
FileList.Add(data);
end;
{ Write transform parameters }
for i := 0 to Transforms do
begin
tpost:=0;
brkwr:=0;
SetActiveTransform(i);
with Transform do
begin

cchaos:=0;
for xv:=0 to Transforms-1 do
begin
if (transform.chaos[xv]<>1) then cchaos:=1;
break;
end;

if(i=Transforms) then
begin
if(a=1) and (b=0) and (c=0) and (d=1) and (e=0) and (f=0) and (variation[0]=1) then tpost:=1;
if(tpost=1) then
begin
for nvar:=1 to NVARs - 1 do
begin
if variation[nvar]<>0 then
begin
tpost:=2;
break;
end;
else
begin
tpost:=0;
brkwr:=1;
end;
end;
else tpost:=2;
end;

data:='';

```

```

if(tpost=0) and (i<Transforms) then data:=data + ' <xform weight=' + FloatToStr(weight) + ' color=' + FloatToStr(color) + '";
else if (i=Transforms) then
begin
if(tpost=2) then data:=data + ' <finalxform color=' + FloatToStr(color) + '";
else if ((brkwr=1) and (cfl=0)) or ((tpost=0) and (cfl=2)) then break;
else if (fxcheck=1) and (tpost=0) then
begin
data:= ' <finalxform color="0" symmetry="1" linear="1" coefs="1 0 0 1 0 0";
if(fxpcheck=1) then data:=data + ' post="1 0 0 1 0 0";
data:=data + ' />';
FileList.Add(data);
break;
end;
end;

tpost:=0;
if (symmetry<>0) then data:=data + ' symmetry=' + FloatToStr(symmetry) + '";

for nvar:=0 to NVARs - 1 do
begin
xv:=nvar;
if (atype>2) then
begin
if(flam3v<='2719') then
begin
if (variationname(xv)<>'linear') and (variationname(xv)<>'sinusoidal') and (variationname(xv)<>'spherical')
and (variationname(xv)<>'swirl') and (variationname(xv)<>'horseshoe') and (variationname(xv)<>'polar')
and (variationname(xv)<>'handkerchief') and (variationname(xv)<>'heart') and (variationname(xv)<>'disc')
and (variationname(xv)<>'spiral') and (variationname(xv)<>'hyperbolic') and (variationname(xv)<>'diamond')
and (variationname(xv)<>'ex') and (variationname(xv)<>'julia') and (variationname(xv)<>'bent')
and (variationname(xv)<>'waves') and (variationname(xv)<>'fisheye') and (variationname(xv)<>'popcorn')
and (variationname(xv)<>'exponential') and (variationname(xv)<>'power') and (variationname(xv)<>'cosine')
and (variationname(xv)<>'rings') and (variationname(xv)<>'fan') and (variationname(xv)<>'blob')
and (variationname(xv)<>'pdj') and (variationname(xv)<>'fan2') and (variationname(xv)<>'rings2')
and (variationname(xv)<>'eyefish') and (variationname(xv)<>'bubble') and (variationname(xv)<>'cylinder')
and (variationname(xv)<>'perspective') and (variationname(xv)<>'noise') and (variationname(xv)<>'julian')
and (variationname(xv)<>'juliascope') and (variationname(xv)<>'blur') and (variationname(xv)<>'gaussian_blur')
and (variationname(xv)<>'radial_blur') and (variationname(xv)<>'pie') and (variationname(xv)<>'ngon')
and (variationname(xv)<>'curl') and (variationname(xv)<>'rectangles') and (variationname(xv)<>'arch')
and (variationname(xv)<>'tangent') and (variationname(xv)<>'square') and (variationname(xv)<>'rays')
and (variationname(xv)<>'blade') and (variationname(xv)<>'secant') and (variationname(xv)<>'twintrian')
and (variationname(xv)<>'cross') and (variationname(xv)<>'disc2') and (variationname(xv)<>'super_shape')
and (variationname(xv)<>'flower') and (variationname(xv)<>'conic') and (variationname(xv)<>'parabola')
then
begin
if(variation[xv]>0) then variation[xv]:=0;
end;
end;
else
begin
if (variationname(xv)<>'linear') and (variationname(xv)<>'sinusoidal') and (variationname(xv)<>'spherical')
and (variationname(xv)<>'swirl') and (variationname(xv)<>'horseshoe') and (variationname(xv)<>'polar')
and (variationname(xv)<>'handkerchief') and (variationname(xv)<>'heart') and (variationname(xv)<>'disc')
and (variationname(xv)<>'spiral') and (variationname(xv)<>'hyperbolic') and (variationname(xv)<>'diamond')
and (variationname(xv)<>'ex') and (variationname(xv)<>'julia') and (variationname(xv)<>'bent')
and (variationname(xv)<>'waves') and (variationname(xv)<>'fisheye') and (variationname(xv)<>'popcorn')
and (variationname(xv)<>'exponential') and (variationname(xv)<>'power') and (variationname(xv)<>'cosine')
and (variationname(xv)<>'rings') and (variationname(xv)<>'fan') and (variationname(xv)<>'blob')
and (variationname(xv)<>'pdj') and (variationname(xv)<>'fan2') and (variationname(xv)<>'rings2')
and (variationname(xv)<>'eyefish') and (variationname(xv)<>'bubble') and (variationname(xv)<>'cylinder')
and (variationname(xv)<>'perspective') and (variationname(xv)<>'noise') and (variationname(xv)<>'julian')
and (variationname(xv)<>'juliascope') and (variationname(xv)<>'blur') and (variationname(xv)<>'gaussian_blur')
and (variationname(xv)<>'radial_blur') and (variationname(xv)<>'pie') and (variationname(xv)<>'ngon')
and (variationname(xv)<>'curl') and (variationname(xv)<>'rectangles') and (variationname(xv)<>'arch')
and (variationname(xv)<>'tangent') and (variationname(xv)<>'square') and (variationname(xv)<>'rays')
and (variationname(xv)<>'blade') and (variationname(xv)<>'secant') and (variationname(xv)<>'twintrian')
and (variationname(xv)<>'cross') and (variationname(xv)<>'disc2') and (variationname(xv)<>'super_shape')
and (variationname(xv)<>'flower') and (variationname(xv)<>'conic') and (variationname(xv)<>'parabola')
and (variationname(xv)<>'foci') and (variationname(xv)<>'move') and (variationname(xv)<>'bent2')
and (variationname(xv)<>'bipolar') and (variationname(xv)<>'boarders') and (variationname(xv)<>'butterfly')
and (variationname(xv)<>'cell') and (variationname(xv)<>'cpow') and (variationname(xv)<>'curve')
and (variationname(xv)<>'edisc') and (variationname(xv)<>'elliptic') and (variationname(xv)<>'escher')
and (variationname(xv)<>'foci') and (variationname(xv)<>'lazysusan') and (variationname(xv)<>'loonie')
and (variationname(xv)<>'pre_blur') and (variationname(xv)<>'modulus') and (variationname(xv)<>'oscilloscope')
and (variationname(xv)<>'polar2') and (variationname(xv)<>'popcorn2') and (variationname(xv)<>'scry')
and (variationname(xv)<>'separation') and (variationname(xv)<>'split') and (variationname(xv)<>'splits')
and (variationname(xv)<>'stripes') and (variationname(xv)<>'wedge') and (variationname(xv)<>'wedge_julia')
and (variationname(xv)<>'wedge_sph') and (variationname(xv)<>'whorl') and (variationname(xv)<>'waves2')

```

```

and (variationname(xv)<>'auger') and (variationname(xv)<>'cos') and (variationname(xv)<>'cosh')
and (variationname(xv)<>'cot') and (variationname(xv)<>'coth') and (variationname(xv)<>'csc')
and (variationname(xv)<>'csch') and (variationname(xv)<>'exp') and (variationname(xv)<>'log')
and (variationname(xv)<>'sec') and (variationname(xv)<>'sech') and (variationname(xv)<>'sin')
and (variationname(xv)<>'sinh') and (variationname(xv)<>'tan') and (variationname(xv)<>'tanh')
and (variationname(xv)<>'flux')
then
begin
  if(variation[xv]<>0) then variation[xv]:=0;
end;
end;
end;

if (variationname(nvar)='secant') and (variation[nvar]<>0) and (flam3v>='2710') then data:=data + ' secant2=' + FloatToStr(variation[nvar]) + ''';
else if variation[nvar]<>0 then data:=data + ' ' + variationname(nvar) + '=' + FloatToStr(variation[nvar]) + ''';
end;
tb:=transform.coefs[0,1]-(transform.coefs[0,1]*2);
tc:=transform.coefs[1,0]-(transform.coefs[1,0]*2);
tf:=transform.coefs[2,1]-(transform.coefs[2,1]*2);
data:=data + ' coefs=' + FloatToStr(transform.coefs[0,0]) + ' ' + FloatToStr(tb) + ' ' + FloatToStr(tc) + ' ' + FloatToStr(transform.coefs[1,1]) + ' ' +
FloatToStr(transform.coefs[2,0]) + ' ' + FloatToStr(tf) + ''';
if(post[0,0]<>1) or (post[0,1]<>0) or (post[1,0]<>0)
or (post[1,1]<>1) or (post[2,0]<>0) or (post[2,1]<>0) then tpost:=1;
if(tpost=1) then
begin
  tb:=transform.post[0,1]-(transform.post[0,1]*2);
  tc:=transform.post[1,0]-(transform.post[1,0]*2);
  tf:=transform.post[2,1]-(transform.post[2,1]*2);
  data:=data + ' post=' + FloatToStr(post[0,0]) + ' ' + FloatToStr(tb) + ' ' + FloatToStr(tc) + ' ' + FloatToStr(post[1,1]) + ' ' + FloatToStr(post[2,0]) + ' ' +
FloatToStr(tf) + ''';
end;
else
begin
  if((i<Transforms) and (tpcheck=1)) then data:=data + ' post="1 0 0 1 0 0"';
  else if((i=Transforms) and (fxpcheck=1)) then data:=data + ' post="1 0 0 1 0 0"';
end;
tpost:=0
for nvar:=0 to NVARs - 1 do
begin
  if variation[nvar]<>0 then
  begin
    if(variationname(nvar)='radial_blur') then data:=data + ' radial_blur_angle=' + FloatToStr(radial_blur_angle) + ''';
    if(variationname(nvar)='rings2') then data:=data + ' rings2_val=' + FloatToStr(rings2_val) + ''';
    if(variationname(nvar)='fan2') then data:=data + ' fan2_x=' + FloatToStr(fan2_x) + ' ' + ' fan2_y=' + FloatToStr(fan2_y) + ''';
    if(variationname(nvar)='blob') then data:=data + ' blob_low=' + FloatToStr(blob_low) + ' ' + ' blob_high=' + FloatToStr(blob_high) + ' ' + '
blob_waves=' + FloatToStr(blob_waves) + ''';
    if(variationname(nvar)='pdj') then data:=data + ' pdj_a=' + FloatToStr(pdj_a) + ' ' + ' pdj_b=' + FloatToStr(pdj_b) + ' ' + ' pdj_c=' +
FloatToStr(pdj_c) + ' ' + ' pdj_d=' + FloatToStr(pdj_d) + ''';
    if(variationname(nvar)='perspective') then data:=data + ' perspective_angle=' + FloatToStr(perspective_angle) + ' ' + ' perspective_dist=' +
FloatToStr(perspective_dist) + ''';
    if(variationname(nvar)='julian') then data:=data + ' julian_power=' + FloatToStr(julian_power) + ' ' + ' julian_dist=' + FloatToStr(julian_dist) + ''';
    if(variationname(nvar)='juliascope') then data:=data + ' juliascope_power=' + FloatToStr(juliascope_power) + ' ' + ' juliascope_dist=' +
FloatToStr(juliascope_dist) + ''';
    if(variationname(nvar)='curl') then data:=data + ' curl_c1=' + FloatToStr(curl_c1) + ' ' + ' curl_c2=' + FloatToStr(curl_c2) + ''';
    if(variationname(nvar)='ngon') then data:=data + ' ngon_sides=' + FloatToStr(ngon_sides) + ' ' + ' ngon_power=' + FloatToStr(ngon_power) + ' ' +
' ngon_circle=' + FloatToStr(ngon_circle) + ' ' + ' ngon_corners=' + FloatToStr(ngon_corners) + ''';
    if(variationname(nvar)='disc2') then data:=data + ' disc2_rot=' + FloatToStr(disc2_rot) + ' ' + ' disc2_twist=' + FloatToStr(disc2_twist) + ''';
    if(variationname(nvar)='rectangles') then data:=data + ' rectangles_x=' + FloatToStr(rectangles_x) + ' ' + ' rectangles_y=' +
FloatToStr(rectangles_y) + ''';
    if(variationname(nvar)='super_shape') then data:=data + ' super_shape_m=' + FloatToStr(super_shape_m) + ' ' + ' super_shape_n1=' +
FloatToStr(super_shape_n1) + ' ' + ' super_shape_n2=' + FloatToStr(super_shape_n2) + ' ' + ' super_shape_n3=' + FloatToStr(super_shape_n3) + ' ' +
' super_shape_rnd=' + FloatToStr(super_shape_rnd) + ' ' + ' super_shape_holes=' + FloatToStr(super_shape_holes) + ''';
    if(variationname(nvar)='flower') then data:=data + ' flower_petals=' + FloatToStr(flower_petals) + ' ' + ' flower_holes=' +
FloatToStr(flower_holes) + ''';
    if(variationname(nvar)='conic') then data:=data + ' conic_eccentricity=' + FloatToStr(conic_eccentricity) + ' ' + ' conic_holes=' +
FloatToStr(conic_holes) + ''';
    if(variationname(nvar)='parabola') then data:=data + ' parabola_height=' + FloatToStr(parabola_height) + ' ' + ' parabola_width=' +
FloatToStr(parabola_width) + ''';
    if(variationname(nvar)='pie') then data:=data + ' pie_slices=' + FloatToStr(pie_slices) + ' ' + ' pie_thickness=' + FloatToStr(pie_thickness) + ' ' +
pie_rotation=' + FloatToStr(pie_rotation) + ''';
    if(flam3v>='2800') then
    begin
      // Flam3 2.8 beta Variations
      if (variationname(nvar)='oscilloscope') then
      begin
        if (flam3v>='2800') then data:=data + ' oscilloscope_separation=' + FloatToStr(oscope_separation) + ' ' + ' oscilloscope_frequency=' +
FloatToStr(oscope_frequency) + ' ' + ' oscilloscope_amplitude=' + FloatToStr(oscope_amplitude) + ' ' + ' oscilloscope_damping=' +
FloatToStr(oscope_damping) + ''';

```

```

else data:=data + ' oscope_separation=' + FloatToStr(oscope_separation) + '' + ' oscope_frequency=' + FloatToStr(oscope_frequency) + '' + '
oscope_amplitude=' + FloatToStr(oscope_amplitude) + '' + ' oscope_damping=' + FloatToStr(oscope_damping) + '';
end;
if(variationname(nvar)='bent2') then data:=data + ' bent2_x=' + FloatToStr(bent2_x) + '' + ' bent2_y=' + FloatToStr(bent2_y) + '';
if(variationname(nvar)='bipolar') then data:=data + ' bipolar_shift=' + FloatToStr(bipolar_shift) + '';
if(variationname(nvar)='cell') then data:=data + ' cell_size=' + FloatToStr(cell_size) + '';
if(variationname(nvar)='cpow') then data:=data + ' cpow_r=' + FloatToStr(cpow_r) + '' + ' cpow_i=' + FloatToStr(cpow_i) + '' + '
cpow_power=' + FloatToStr(cpow_power) + '';
if(variationname(nvar)='curve') then data:=data + ' curve_xamp=' + FloatToStr(curve_xamp) + '' + ' curve_yamp=' + FloatToStr(curve_yamp) +
'' + ' curve_xlength=' + FloatToStr(curve_xlength) + '' + ' curve_ylength=' + FloatToStr(curve_ylength) + '';
if(variationname(nvar)='escher') then data:=data + ' escher_beta=' + FloatToStr(escher_beta) + '';
if(variationname(nvar)='lazysusan') then data:=data + ' lazysusan_spin=' + FloatToStr(lazysusan_spin) + '' + ' lazysusan_space=' +
FloatToStr(lazysusan_space) + '' + ' lazysusan_twist=' + FloatToStr(lazysusan_twist) + '' + ' lazysusan_x=' + FloatToStr(lazysusan_x) + '' + '
lazysusan_y=' + FloatToStr(lazysusan_y) + '';
if(variationname(nvar)='modulus') then data:=data + ' modulus_x=' + FloatToStr(modulus_x) + '' + ' modulus_y=' + FloatToStr(modulus_y) + '';
if(variationname(nvar)='popcorn2') then data:=data + ' popcorn2_x=' + FloatToStr(popcorn2_x) + '' + ' popcorn2_y=' + FloatToStr(popcorn2_y)
+ '' + ' popcorn2_c=' + FloatToStr(popcorn2_c) + '';
if(variationname(nvar)='separation') then data:=data + ' separation_x=' + FloatToStr(separation_x) + '' + ' separation_y=' +
FloatToStr(separation_y) + '' + ' separation_xinside=' + FloatToStr(separation_xinside) + '' + ' separation_yinside=' + FloatToStr(separation_yinside)
+ '';
if(variationname(nvar)='split') then data:=data + ' split_xsize=' + FloatToStr(split_xsize) + '' + ' split_ysize=' + FloatToStr(split_ysize) + '';
if(variationname(nvar)='splits') then data:=data + ' splits_x=' + FloatToStr(splits_x) + '' + ' splits_y=' + FloatToStr(splits_y) + '';
if(variationname(nvar)='stripes') then data:=data + ' stripes_space=' + FloatToStr(stripes_space) + '' + ' stripes_warp=' +
FloatToStr(stripes_warp) + '';
if(variationname(nvar)='wedge') then data:=data + ' wedge_angle=' + FloatToStr(wedge_angle) + '' + ' wedge_hole=' + FloatToStr(wedge_hole)
+ '' + ' wedge_count=' + FloatToStr(wedge_count) + '' + ' wedge_swirl=' + FloatToStr(wedge_swirl) + '';
if(variationname(nvar)='wedge_julia') then data:=data + ' wedge_julia_angle=' + FloatToStr(wedge_julia_angle) + '' + ' wedge_julia_count=' +
FloatToStr(wedge_julia_count) + '' + ' wedge_julia_power=' + FloatToStr(wedge_julia_power) + '' + ' wedge_julia_dist=' +
FloatToStr(wedge_julia_dist) + '';
if(variationname(nvar)='wedge_sph') then data:=data + ' wedge_sph_angle=' + FloatToStr(wedge_sph_angle) + '' + ' wedge_sph_hole=' +
FloatToStr(wedge_sph_hole) + '' + ' wedge_sph_count=' + FloatToStr(wedge_sph_count) + '' + ' wedge_sph_swirl=' + FloatToStr(wedge_sph_swirl)
+ '';
if(variationname(nvar)='whorl') then data:=data + ' whorl_inside=' + FloatToStr(whorl_inside) + '' + ' whorl_outside=' +
FloatToStr(whorl_outside) + '';
if(variationname(nvar)='waves2') then data:=data + ' waves2_scalex=' + FloatToStr(waves2_scalex) + '' + ' waves2_scaley=' +
FloatToStr(waves2_scaley) + '' + ' waves2_freqx=' + FloatToStr(waves2_freqx) + '' + ' waves2_freqy=' + FloatToStr(waves2_freqy) + '';
if(variationname(nvar)='auger') then data:=data + ' auger_sym=' + FloatToStr(auger_sym) + '' + ' auger_weight=' + FloatToStr(auger_weight) +
'' + ' auger_freq=' + FloatToStr(auger_freq) + '' + ' auger_scale=' + FloatToStr(auger_scale) + '';
end;
end;
end;

if (cchaos=1) then
begin
for xv:=0 to Transforms-1 do
begin
if(xv=0) then data:=data + ' chaos=' + FloatToStr(transform.chaos[xv]);
else data:=data + ' '
+ FloatToStr(transform.chaos[xv]);
end;
data:=data + '';
end;
data:=data + ' />'
FileList.Add(data);
end;
end;
tpost:=0;

{ Write palette data }
for i := 0 to 255 do
begin
FileList.Add(' <color index=' + IntToStr(i) + '' rgb=' + IntToStr(Flame.Gradient[i,0]) + '' + IntToStr(Flame.Gradient[i, 1]) + '' +
IntToStr(Flame.Gradient[i, 2]) + '' />');
end;
FileList.Add('</flame>');
if(brkl=1) then break;
end;

FileList.Add('</Flames>');
FileList.SaveToFile(outputPath + flameName + '.flame');
FileList.Free;

//
// Creating a batch file controlling flam3-animate program
//
FileList := TStringList.create;
FileList.Add('@echo off');

```

```

FileList.Add("");
FileList.Add('REM');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM');
FileList.Add('REM ' + cver);
FileList.Add('REM Flam3 ' + flam3s);
FileList.Add('REM');
FileList.Add('REM Generation Parameters');
FileList.Add('REM Resolution: ' + IntToStr(w) + 'x' + IntToStr(h));
FileList.Add('REM Quality: ' + IntToStr(q));
if(t='jpg') then
begin
FileList.Add('REM File Format: ' + t);
FileList.Add('REM JPEG Quality: ' + IntToStr(jpgq));
end;
else if(t='png') then
begin
msg:='REM File Format: png';
if(png16b=1) then msg:=msg+' 16bit';
if(pngt=1) then msg:=msg+' Transparent Background';
FileList.Add(msg);
end;
else FileList.Add('REM File Format: ' + t);
FileList.Add('REM Last Frame: ' + IntToStr((FileCount * KeyDuration)-1) + ' - Extra Loop Frame: ' + IntToStr(FileCount * KeyDuration));
if(aloop=1) then FileList.Add('REM Loop K.F.: ON');
else FileList.Add('REM Loop K.F.: OFF');
FileList.Add('REM');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM');

FileList.Add("");
FileList.Add('title ' + cver + ' - Rendering: ' + FlameName + '.flame');
FileList.Add('set verbose=2');
FileList.Add("");

FileList.Add('set dtime=1');
FileList.Add('set prefix=' + FlameName + '_');
FileList.Add("");

FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Available formats are jpg, png or ppm');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set format=' + t);
if(t='jpg') then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM JPEG Quality. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set jpeg=' + IntToStr(jpgq));
end;
if(t='png') and (png16b=1) then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM 16bit PNG output. ');
FileList.Add('REM Change it to bpc=8 or comment it to swtich to 8bit PNG output. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set bpc=16');
end;
if(pngt=1) then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Make background transparent');
FileList.Add('REM Change it to transparency=0 or comment it to swtich to solid background. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set transparency=1');
end;

if(flam3v>='2706') then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Uncomment and Modify "nthreads" value to use 1 or more cpu cores. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM set nthreads=1');

```

```

FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Embed Flame parameters into the rendered file. ');
FileList.Add('REM Change it to 1 to activate the parameters embed. ');
FileList.Add('REM -----');
if (t='jpg') then FileList.Add('set enable_jpeg_comments=0');
else if (t='png') then FileList.Add('set enable_png_comments=0');
end;

if(flam3v>='2800') then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Uncomment to enable the early clipping of rgb values for better antialiasing and resizing. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM set earlyclip=1');
end;

FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Uncomment and change nframes value to render some mid frames only. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM set nframes=1');
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Uncomment and change pixel_aspect value to set aspect ratio of pixels (width over height). ');
FileList.Add('REM Square Pixel (DEFAULT) 1.0');
FileList.Add('REM D1/DV NTSC 0.9');
FileList.Add('REM D1/DV NTSC Widescreen 1.2');
FileList.Add('REM D1/DV PAL 1.07');
FileList.Add('REM D1/DV PAL Widescreen 1.42');
FileList.Add('REM HDV 1080/DVCPRO HD 720 1.33');
FileList.Add('REM DVCPRO HD 1080 1.5');
FileList.Add('REM D4/D16 Standard 0.95');
FileList.Add('REM D4/D16 Anamorphic 1.9');
FileList.Add('REM Anamorphic 2:1 2.0');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM set pixel_aspect=1.0');
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Change "bits" value to set Rendering bit-width of internal buffers. ');
FileList.Add('REM Allowed values: 16, 32, 33 or 64');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set bits=64');
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Change "qs" value to multiple/divide rendering quality. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set qs=1');
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Change "ss" value to multiple/divide generated Flame-file resolution. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set ss=1');

if(flam3v>='2800') then
begin
if (stagger>0) then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Stagger: Flam3 2.8 new Transforms interpolation. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set stagger='+FloatToStr(stagger));
end;
else if(atype=1) or (atype=2) or (atype=4) or (atype=5) then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Stagger: Flam3 2.8 new Transforms interpolation. ');
FileList.Add('REM Uncomment and modify Stagger value to activate it! ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM set stagger=0');
end;
end;

if(atype>0) or (stagger>0) then
begin

```

```

FileList.Add("");
if(atype=1) or (atype=4) then
begin
FileList.Add('echo Initializing Sheep animation. ');
FileList.Add('set nframes=' + IntToStr(KeyDuration));
FileList.Add('set sequence=' + FlameName + '.flame');
FileList.Add('set loops=1')
FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-genome.exe" > "' + FlameName + ' _sheep.flame"');
FileList.Add("");
end;
else if(atype=2) or (atype=5) then
begin
FileList.Add('echo Initializing Edge animation. ');
FileList.Add('set nframes=' + IntToStr(KeyDuration));
FileList.Add('set sequence=' + FlameName + '.flame');
FileList.Add('set loops=0')
FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-genome.exe" > "' + FlameName + ' _edge.flame"');
FileList.Add("");
end;
else if ((atype=0) or (atype=3)) and (stagger>0) then
begin
FileList.Add('echo Initializing Stagger Morph animation. ');
FileList.Add('set animate=' + FlameName + '.flame');
FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-genome.exe" > "' + FlameName + ' _stagger.flame"');
FileList.Add("");
end;
end;

if(aloop=1) then
begin
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Uncomment "end" value to render the extra last Loop frame');
FileList.Add('REM or');
FileList.Add('REM Change "end" value to quit the render before the sequences"s end. ');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM set end=' + IntToStr(FileCount * KeyDuration));
end;
FileList.Add("");
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('REM Change "begin" value to continue a stopped sequence-rendering');
FileList.Add('REM -----');
FileList.Add('set begin=0');

FileList.Add("");

//
// STEPS code
//
if(stp>1) then FileList.Add('set dtime=' + IntToStr(stp));
if(pstp=1) then
begin
for sts:=0 to stp -1 do
begin
FileList.Add('echo Rendering: ' + FlameName + '.flame');
if(stp>1) then
begin
FileList.Add('@echo ---- Step ' + IntToStr(sts)+ ' ----');
FileList.Add('@echo ---- Step ' + IntToStr(sts)+ ' ---- >> "' + outputpath + flameName + ' _log.txt"');
end;
FileList.Add('set begin=' + IntToStr(sts));
if ((atype=0) or (atype=3)) and (stagger>0) then
begin
FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + ' _stagger.flame"');
end;
else if(atype=0) or (atype=3) then
begin
FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + '.flame"');
end;
else if(atype=1) or (atype=4) then
begin
FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + ' _sheep.flame"');
end;
else if(atype=2) or (atype=5) then
begin
FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + ' _edge.flame"');
end;
end;
if(stp>1) then

```

```

begin
  FileList.Add('@echo ---- Step '+ IntToStr(sts)+ ' COMPLETED ----');
  FileList.Add('@echo ---- Step '+ IntToStr(sts)+ ' COMPLETED ---- >> ' + outputpath + flameName + '_log.txt');
end;
end;
end;
else
begin
  FileList.Add('echo Rendering: ' + FlameName + '.flame');
  if ((atype=0) or (atype=3)) and (stagger>0) then FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + '_stagger.flame"');
  else if (atype=0) or (atype=3) then FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + '.flame"');
  else if (atype=1) or (atype=4) then FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + '_sheep.flame"');
  else if (atype=2) or (atype=5) then FileList.Add('"' + flam3path + 'flam3-animate.exe" < "' + FlameName + '_edge.flame"');
end;
FileList.Add('');
if (atype=1) or (atype=4) then FileList.Add('del /Q "' + FlameName + '_sheep.flame"');
else if (atype=2) or (atype=5) then FileList.Add('del /Q "' + FlameName + '_edge.flame"');
else if ((atype=0) or (atype=3)) and (stagger>0) then FileList.Add('del /Q "' + FlameName + '_stagger.flame"');

//
// Ending code
//
if (pstp=1) then FileList.Add('del "' + outputpath + flameName + '_log.txt"');
// FileList.SaveToFile(outputpath + flameName + '_animate.bat');
FileList.SaveToFile(outputPath + flameName + '_animate.bat');
FileList.Free;
UpdateFlame := False;

SetFlameFile(outputPath + flameName + '.flame');
for fl := 0 to FileCount-1 do
begin
  ShowStatus('Preview '+IntToStr(fl+1)+'/'+IntToStr(FileCount));
  LoadFlame(fl);
  Preview;
end;

print('');
print('Now you can execute the batch file named "' + OutputPATH + FlameName + '_animate.bat"');
ShowStatus('Now you can execute the batch file named "' + OutputPATH + FlameName + '_animate.bat"');

ShowMessage('Now you can execute the batch file named'#13#10'#13#10'" + OutputPATH + FlameName + '_animate.bat'"#13#10'#13#10'which
will create your animation frames!');

UpdateFlame := False;

```