INTERFACE TECNOLÓGICA

O IMPACTO DA RENDERIZAÇÃO DE FRACTAIS NOS AMBIENTES MODERNOS DE HARDWARE

THE IMPACT OF FRACTAL RENDERING IN MODERN HARDWARE ENVIRONMENTS

Arthur da Fonseca Bravo – af.bravo@hotmail.com
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) – Taquaritinga – SP – Brasil

Giuliano Scombatti Pinto – giuliano.pinto@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga (Fatec) – Taquaritinga – SP – Brasil

DOI: 10.31510/infa.v20i1.1665
Data de submissão: 20/03/2023
Data do aceite: 29/05/2023
Data da publicação: 30/06/2023

RESUMO

Os cálculos e as hipótese matemáticas que levaram à descoberta das formas fractais existem já a muito tempo. Porém foi apenas nas últimas décadas, com a evolução tecnológica dos computadores e dos softwares, que se tornou possível a visualização em alta resolução das principais formas fractais que são conhecidas hoje, bem como suas diversas aplicações, tanto acadêmicas como práticas. O objetivo do presente artigo é apresentar diferentes métodos de renderizar um fractal, bem como o fato de que cada um deles causa um impacto diferente nos hardwares modernos. A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica. Os resultados apontaram que os métodos mais antigos quase não exercem impacto nesses ambientes e mesmo assim ainda levam tempo para serem renderizados, diferentemente de métodos mais recentes que exigem bem mais dos computadores. Assim, foi possível concluir que graças à melhor utilização de GPUs na renderização, formas que antes sobrecarregavam até os mais modernos processadores agora podem ser reproduzidas em ambientes mais simples. A renderização de fractais vem se tornando cada vez mais acessível.

Palavras-chave: Fractais. Renderização. Hardware. Software. Recursão. Processador. GPU.

ABSTRACT

The calculations and mathematical assumptions that led to the discovery of fractal shapes have been around for a long time. However, it was only in recent decades, with the technological evolution of computers and software, that it became possible to visualize the main fractal shapes that are known today in high resolution, as well as their various applications, both academic and practical. The purpose of this article is to present different methods of rendering a fractal, as well as the fact that each of them has a different impact on modern hardware. The methodology used was bibliographical research. The results showed that the older methods have almost no impact on these environments but still take time to render, unlike more recent methods that require much more computers. Thus, it was possible to conclude that thanks to the better use of GPUs in rendering, forms that previously overloaded even the most modern processors can now be reproduced in simpler environments. Fractal rendering is becoming more and more accessible.

INTERFACE TECNOLÓGICA

Keywords: Fractals. Rendering. Hardware. Software. Recursion. Processor. GPU.

1 INTRODUÇÃO

Fractais são formas complexas e auto semelhantes que desempenham papéis importantes nos meios acadêmicos, artísticos e tecnológicos. É impossível separar a história dos fractais da história dos próprios computadores. Desde a sua descoberta no final da década de 1970, um dos maiores desafios sempre foi obter as imagens na mais alta resolução, o zoom mais profundo ou o fractal mais complexo. Ao longo do tempo foram criados vários métodos diferentes para renderizar fractais. Alguns desses métodos aliviam a carga de processamento ao utilizar diferentes partes do hardware. Outras utilizam diferentes algoritmos para encurtar o tempo de renderização dessas formas e imagens. Mas quais partes do hardware são mais impactadas por esses diferentes métodos? E como os ambientes modernos se comportam mediante os métodos mais rústicos? Será que a renderização detalhada de fractais tridimensionais é possível até para computadores mais simples? Essas são algumas das perguntas que o presente estudo visa explorar

O objetivo principal deste estudo é elucidar o público a respeito da definição, do histórico e da relevância dos fractais, bem como por meio de testes práticos que não é necessário possuir um supercomputador para se trabalhar com a renderização de fractais.

A metodologia utilizada é a pesquisa bibliográfica realizada em livros, artigos, sites e matérias importantes referentes ao tema do presente trabalho. Inicialmente, será apresentado um breve histórico dos fractais de modo geral, desde a origem do seu conceito nos números complexos até os métodos mais modernos de renderização, passando por personalidades importantes como Julia, Mandelbrot, Carpenter, entre outros. Em seguida, será discutida a metodologia utilizada para a realização dos testes, bem como as especificações dos dispositivos utilizados e breves contextos dos diferentes softwares e seus respectivos métodos de renderização. Posteriormente, serão expostos os resultados dos testes e discutidas as conclusões que podem ser tiradas a partir dos dados obtidos. Por fim, na seção 5, serão apresentadas as conclusões e as considerações finais.

INTERFACE TECNOLÓGICA

2 UM BREVE HISTÓRICO DAS FORMAS FRACTAIS

Antes de entender melhor o funcionamento e o papel dos fractais, é necessário compreender, mesmo que de forma superficial, a matemática por trás dos números complexos, uma vez que o estudo destes foi o que possibilitou a descoberta das primeiras formas fractais.

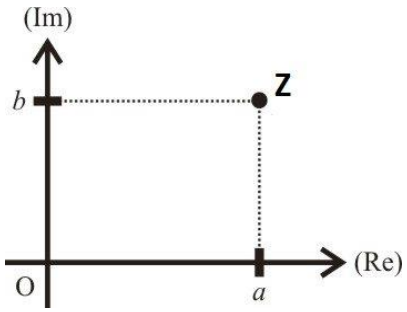
2.1 Números Complexos

Em síntese, números complexos formam um conjunto numérico mais abrangente do que os números reais. É de senso comum que um número negativo não pode ter raiz, mas tal conjectura não impediu que problemas envolvendo essa raiz surgissem desde a antiguidade. Afim de contornar tal dilema, os matemáticos passaram a denominar essas raízes de ***i***.

Segundo Argona e Oliveira (2010), o primeiro matemático a desenvolver uma noção, mesmo que vaga, da natureza dos números complexos foi R. Bombelli. Porém, O conceito só foi formalizado em 1833 pelo irlandês W. R. Hamilton. Atualmente, a base principal adotada é $\boldsymbol{i} = \sqrt{-1}$. Esse número ***i*** é chamado de unidade imaginária. Sendo assim, um número complexo z é representado como $z = a + b\boldsymbol{i}$, sendo a e b pertencentes ao conjuntos dos reais.

Uma das formas de representar um número complexo é utilizando um sistema de coordenadas chamado Plano de Argand-Gauss. Tal plano é formado por dois segmentos de reta. O segmento horizontal representa a parte real do número, enquanto o segmento vertical representa sua parte imaginária. Na figura 1 é possível visualizar número $z = a + b\boldsymbol{i}$ representado no plano.

Figura 1 - $z = a + bi$ representado graficamente



Fonte – Infoescola (2013)

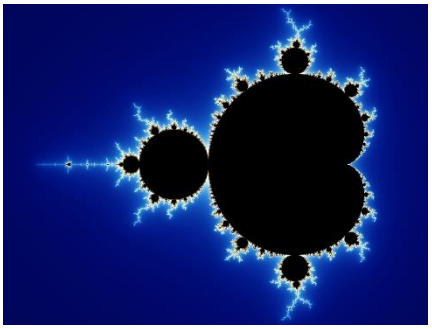
2.2 Os primeiros fractais

No geral, é seguro afirmar que a pessoa que cunhou o termo “fractal” foi o estudioso polonês Benoît Mandelbrot. Segundo a IBM (2012), a partir de 1969, Malndelbrot passou a trabalhar com as teorias de iterações propostas por Pierre Fatou e Gaston Julia. Tais teorias giravam em torno da equação $z = z^2 + c$, onde z e c são números complexos, ou seja, funcionam em duas dimensões. Uma vez definidos os valores da variável z e da constante c, o resultado da equação torna-se o novo valor de z e a equação se repete indefinidamente.

No início do século vinte, Gaston Julia percebeu que, seguindo tal equação, as iterações podem tender ao infinito ou se estabilizar em um padrão específico, dependendo da localização do valor z. A forma do limite varia de acordo com o valor de c. Já na década de 70, Mandelbrot, tendo acesso a computadores e visualizações mais precisas enquanto trabalhava no centro de pesquisa Thomas J. Watson da IBM, repetiu tal processo, desta vez porém, definindo o z inicial como 0 e variando os valores de c. Mandelbrot percebeu que a forma da fronteira da estabilidade das iterações era pouco convencional e possuía características únicas, a principal delas sendo a repetição da forma original em diversos locais da fronteira. Este conjunto de valores é chamado de conjunto de Mandelbrot e provavelmente é a forma fractal mais conhecida. Mandelbrot publicou diversos artigos e livros detalhando suas descobertas no final da década de 70.

Com o avanço da tecnologia, hoje há a possibilidade de gerar visualizações em alta resolução deste conjunto. Provavelmente a imagem mais reconhecível é a ilustração apresentada na figura 2. Coloridas em preto estão as regiões onde o valor das iterações da equação é estável. Em azul estão as regiões onde tal valor tende ao infinito. As outras cores representam o grau de instabilidade das iterações.

Figura 2 - Conjunto de Mandelbrot



Fonte – Wikimedia Commons (2013)

2.3 “Vol Libre” e os terrenos fractais

Em julho de 1980, o pesquisado Loren Carpenter apresentou na conferência SIGGRAPH um curta-metragem em computação gráfica que expandiria os horizontes da aplicação prática de fractais. Inspirado no livro “Fractais: Forma, Probabilidade e Dimensão” de Mandelbrot (1977), que dizia que a natureza tende a se organizar em formas rugosas e não suaves, Carpenter fez um filme de dois minutos chamado “Vol Libre”, utilizando um software de autoria própria que, pelo uso de geometria fractal, poderia gerar paisagens montanhosas realistas. Tal projeto foi um grande sucesso e rendeu a Carpenter um emprego na divisão de computação da produtora Lucasfilm. Divisão essa que eventualmente se tornaria a Pixar, onde Carpenter trabalha até hoje, ocupando o cargo de Cientista Chefe. A figura 3 traz duas capturas de tela do filme, uma antes e uma depois da aplicação da geometria fractal.

Figura 3 - Comparação da paisagem inicial do curta



Fonte – Vol Libre (1980)

É digno de atenção que, mesmo que o curta-metragem tenha sido feito a 42 anos atrás da data de produção deste artigo, seu nível de detalhes e realismo é comparável a mídias da geração atual como clipes, animações e jogos eletrônicos, muitos dos quais utilizam a mesma tecnologia.

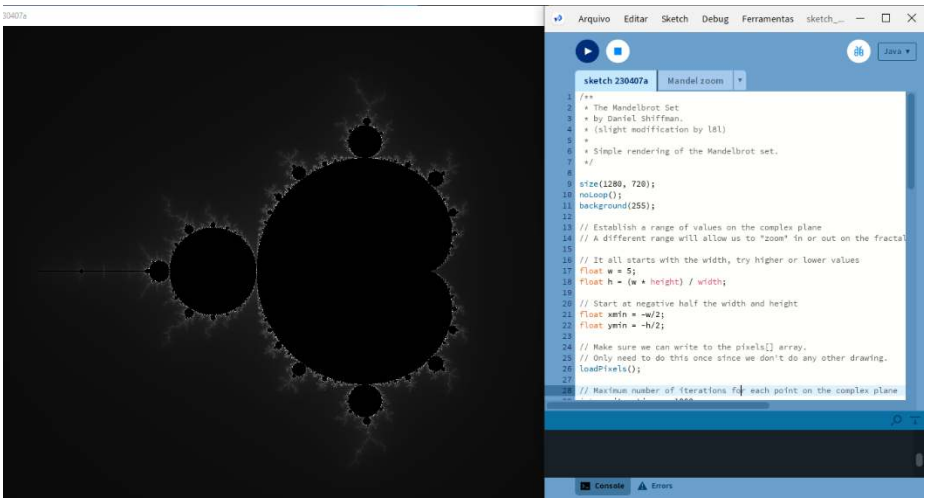
2.4 Os métodos de renderização dos fractais

A partir da década de 80, os avanços técnologicos permitiram que a geração e a renderização de fractais se tornasse mais acessível e mais potente, com maior precisão e

qualidade. Tecnologias como o processamento "*multi-thread*" e as placas de vídeo geraram grande impacto nas representações de formas fractais nos tempos atuais. Segundo Chen Y. Q. e Bi G. (1997), pode-se dizer que existem dois métodos principais para renderizar fractais bidimensionais. O primeiro, e mais simples, método é aplicar um processo iterativo em equações simples por meio de recursão. Nesse método, os valores gerados nos sistemas dinâmicos são calculados e renderizados como pixels.

Segundo Chen J. N. et al. (1994), na teoria, tal processo pode calcular e gerar imagens indefinidamente, mas na prática só é possível chegar até certo nível de detalhe. A figura 4 demonstra um exemplo simples de renderização por meio de recursão do conjunto de Mandelbrot utilizando o software Processing, com um código escrito por Daniel Shiffman (2009).

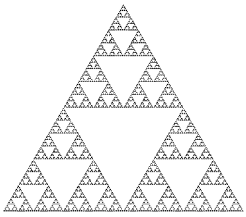
Figura 4 - Conjunto de Mandelbrot renderizado por recursão



Fonte – Elaborada pelo autor (2023)

O segundo método de renderização é utilizando um sistema de funções iteradas (ou *Iterated Function Systems*, IFS). São sistemas matemáticos que usam diversas equações para gerar uma forma auto similar. O principal exemplo deste método é o Triangulo de Sierpiński. O algoritmo mais comum para a computação de fractais IFS é o "Jogo do Caos", proposto por Bransley (1988), onde se escolhe um ponto aleatório dentro de um polígono de ***n*** lados e então desenha-se o próximo ponto numa fração específica ***r*** da distância entre o primeiro ponto e um vértice aleatório do polígono. A Figura 5 apresenta o triângulo de Sierpinski.

Figura 5 - Triângulo de Sierpinski



Fonte – Wikimedia Commons (2005)

Além desses dois métodos, ainda existem vários outros que foram sendo desenvolvidos com o passar do tempo, incluindo métodos para a renderização tridimensional e até mesmo quadridimensional. Fractais quadridimensionais só são possíveis graças ao conceito de quartenião, uma extensão dos números complexos. Diversos softwares de manipulação gráfica de imagem e modelagem, como, por exemplo, GIMP, Blender, Autodesk Maya, entre outros, possuem *plug-ins* que oferecem suporte à geração de objetos fractais. A figura 6 demonstra um exemplo de fractal gerado a partir de um desses softwares.

Figura 6 - Fractal gerado no software Blender a partir do plug-in Fractal Machine



Fonte – Bad Normals (2022)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realizar este estudo, além de pesquisas bibliográficas e comparações entre diferentes fontes, também foram realizados experimentos práticos utilizando diferentes softwares sendo executados em diferentes ambientes de hardware. Nas subseções serão abordadas as fermentas utilizadas.

3.1 Softwares

Para a realização dos testes, foram utilizados três softwares diferentes. O primeiro software é o chamado Processing. Processing é um software *open-source* voltado para a aprendizagem e para o desenvolvimento artístico

O segundo software é chamado Apophysis, um editor e renderizador *open-source* gratuito de chamas fractais. O software utiliza a tecnologia IFS

O terceiro software é chamado Mandelbulber e é especializado na renderização de fractais tridimensionais. Uma de suas características mais atraentes é a possibilidade de usar aceleração por hardware com suporte a múltiplas GPUs por meio do OpenCl.

3.2 Hardwares

Os testes foram realizados em três dispositivos diferentes com especificações variadas afim de se obter resultados mais diversos e com menos chance de serem contaminados por problemas específicos de um dos dispositivos. O primeiro dispositivo é um computador laptop da marca Acer, linha Aspire, modelo A515-54G-59C0, processador Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11 GHz, GPU NIVIDIA GeForce MX250 com 2GB de VRAM, 8GB de memória RAM DDR4 e SSD de 500GB de armazenamento, rodando o sistema operacional Windows 10.

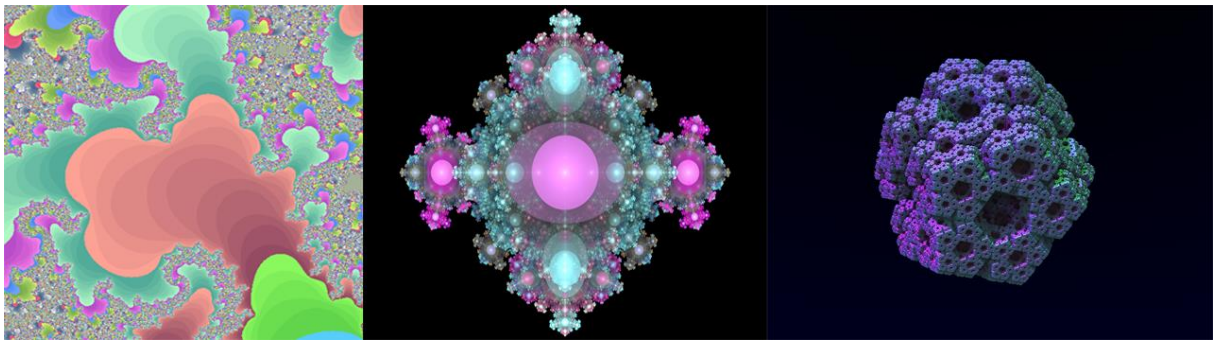
O segundo dispositivo é um computador de mesa com processador Intel(R) Core(TM) i3-2130 CPU @ 3.40GHz, GPU Intel(R) HD Graphics, 6GB de memória RAM DDR3 e HD de 320GB de armazenamento, rodando o sistema operacional Windows 8.1. Uma vez que que a placa de vídeo é integrada e obsoleta, sem compatibilidade com OpenCl, não foi possível realizar o teste da renderização tridimensional com GPU, muito menos coletar seus dados de capacidade e uso.

O terceiro dispositivo é um computador laptop da também da marca Acer, linha Nitro modelo AN515-57, processador Intel(R) Core(TM) i5-9300H CPU @ 2.40GHz, GPU NIVIDIA GTX 1650 com 4GB de VRAM, 8GB de memória RAM DDR4 e SSD de 240GB de armazenamento, rodando o sistema operacional Windows 11. Agradeço a Lucas Henrique Pagassini pela cooperação em ter disposto de tempo para coletar os dados em seu próprio computador.

3.3 Métodos

Foram reproduzidas condições virtualmente idênticas de renderizações de três fractais específicos, um para cada software, idênticos em cada dispositivo. Por meio do gerenciados de tarefas nativo do Windows, foram monitorados os picos de uso dos processadores e das GPUs. Os dados foram colhidos utilizando uma tabela que foi enviada aos usuários dos respectivos dispositivos. Espera-se que, comparando esses dados, possa-se perceber qual hardware possui mais impacto em cada um dos métodos de renderização e visse-e-versa. A figura 7 a seguir apresenta os fractais a serem renderizados.

Figura 7 - Fractais gerados por recursão, IFS e tridimensionalmente respectivamente



Fonte – Elaborada pelo autor (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os dados colhidos e discutidas as conclusões possíveis com base na análise crítica dos referidos dados.

4.1 Resultados

No teste de renderização por recursão, o Dispositivo 1 levou em média 8,42 segundos por renderização em 6 ampliações. A CPU permaneceu estável a 6%. No teste de renderização IFS, a média foi de 1,442 segundos por pré-renderização e 5 minutos e 51,24 segundos para a renderização completa. Com o aumento do buffer para 100, o tempo de renderização sobre para mais de 7 segundos. O pico de uso da CPU foi de 59%. No teste de renderização tridimensional com CPU, o tempo das renderizações variou de 2,2 a 15,4 segundos em 10 ampliações. Quanto

mais profundo o zoom, mais tempo levava a renderização. O uso da CPU excedeu os 100%. No teste de renderização tridimensional com GPU, a média foi de 2,18 segundos em 10 ampliações. O pico da CPU foi de 31% e o da GPU foi de 82%. A relação profundidade – tempo ainda é visível, mas em escala muito menor.

No teste de renderização por recursão, o Dispositivo 2 levou em média 8,43 segundos por renderização em 6 ampliações. A CPU teve picos de 59%. No teste de renderização IFS, a média foi de 2,36 segundos por pré-renderização e e 11 minutos e 7,97 segundos para a renderização completa. Com o aumento do buffer para 100, o tempo de renderização sobre para mais de 10 segundos. O pico de uso da CPU foi de 97%. No teste de renderização tridimensional com CPU, o tempo das renderizações variou de 7 a mais de 20 segundos em 10 ampliações. O uso da CPU era limitado a 99%. Quanto ao teste de renderização tridimensional com GPU, não foi possível coletar dados pois a placa não pussui compatibilidade com OpenCl.

No teste de renderização por recursão, o Dispositivo 3 levou em 7,4 segundos por renderização em 6 ampliações. A CPU permaneceu estável a 25%. No teste de renderização IFS, a média foi de 0.364 por pré-visualização em 5 ampliações e 8 minutos e 39 segundos para renderização completa. Com o aumento do buffer para 100, o tempo de renderização sobre para cerca de 1,8 segundos. O pico de uso da CPU foi de 100%, mas no geral manteve-se estável a 60%. No teste de renderização tridimensional com CPU, o tempo das renderizações variou de 2,7 a 6,6 em 10 ampliações. O uso da CPU chegou a 100%, mas no geral manteve-se estável em 70%. No teste de renderização tridimensional com GPU, a média foi de 0,6 segundos em 10 ampliações. O pico da CPU foi de 38% e o da GPU foi de 45%. Não houve aumento de tempo visível com relação á profundidade. Em todos os testes nos três dispositivos não houve mudança significativa na RAM.

4.2 Discussão

Mediante os dados analisados é possível fazer uma série de afirmações com respeito ao tempo da renderização e o quanto é exigido do hardware do computador. A primeira afirmação que se pode fazer com base no contexto em que os testes foram realizados é que, com respeito aos métodos IFS e tridimensional, o tempo de renderização é proporcional à capacidade de processamento. Na renderização total do fractal gerado por IFS, o uso de CPU do dispositivo 1 não excedeu os 59% e o tempo total foi de apenas 5 minutos e 51 segundos. Já no dispositivo 2, o uso chegou a 97% e o tempo de renderização foi de 11 minutos e 7 segundos.

O poder de processamento afetou até mesmo o método recursivo. Mesmo que a média de todos os dispositivos tenha sido de aproximadamente 9 segundos, o uso de CPU do dispositivo 2 chegou a 59%, enquanto os demais dispositivos não passaram de 25%. Porém, o método que mais evidencia tal relação é a renderização tridimensional sem a GPU. Neste método, desde o início do teste os dispositivos já atingiram a capacidade máxima de processamento. Portanto, quanto mais profunda era a ampliação e mais complexos os cálculos necessários, como não havia forma de alocar mais poder de processamento, a renderização levou mais tempo para ser concluída. No dispositivo 3 a amplitude total foi de aproximadamente 4 segundos, enquanto a do dispositivo 2 foi de 19 segundos.

Tais afirmações apenas destacam ainda mais a importância das GPUs. Quando a renderização tridimensional é realizada com o apoio da GPU, por meio do OpenCl, a carga do processador se torna bem mais suave, ao mesmo tempo que a renderização se torna bem mais rápida. No primeiro dispositivo, a carga da GPU foi pesada e chegou a 82% de sua capacidade. Já no terceiro dispositivo que, por sua vez, possui uma GPU mais avançada, que inclusive é considerada uma placa de entrada no mercado, o uso da GPU não ultrapassou 45% da capacidade, mesmo nas áreas profundas do fractal. Também é importante observar que, em nenhum dos testes realizados em todos os três dispositivos houve alteração significativa no uso de memória RAM.

Mesmo sem o acesso às melhores GPUs disponíveis ao público, só de perceber a diferença de performance entre os dispositivos 1 e 3, que não são tão distantes em termos qualitativos, já é possível ter uma ideia do que as melhores GPUs são capazes de fazer. A partir destes testes é seguro afirmar que, mesmo que computadores mais simples ainda tenham dificuldade em lidar com a renderização de fractais, principalmente os mais complexos, não é necessário possuir o ambiente mais moderno de hardware para se trabalhar com fractais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste artigo, foi apresentado como os fractais deixaram de ser apenas manchas mal definidas num papel para se tornarem belas imagens em alta resolução que, na realidade, já eram familiares para as pessoas. A maior parte deste avanço deve-se à evolução dos computadores e dos métodos de renderização, não se esquecendo daqueles que deram de si para tornar realidade tais avanços.

Graças a essas pessoas, nos dias atuais é possivel encontrar os mais diversos métodos de renderização que se adaptam para as necessidades e as limitações de cada ambiente computacional. Afinal, a partir dos resultados obtidos, é possível afirmar que mesmos os computadores mais simples ainda são capazes de trabalhar com fractais sem enfrentar problemas gravíssimos. Claro que um hardware que seja razoavelmente mais avançado já pode causar um grande avanço na performance. Mas, no caso dos computadores mais simples, o que não pode ser atingido com capacidade de processamento, pode ser atingido com tempo.

Se fosse possível testar dezenas de softwares em centenas de computadores com variadas especificações técnicas é provável dados muito mais precisos seriam obtidos e haveria conclusões ainda mais determinantes. Porém, dadas as circunstancias da produção deste estudo, pode-se considerar os dados obtidos como mais que satisfatórios.

O estudo dos fractais tem ganhado cada vez mais relevância nos últimos anos. Graças aos crescentes avanços tecnológicos, teses que antes eram consideradas apenas teóricas, têm sido provadas e colocadas em prática por jovens estudiosos e artistas. Seguindo a partir desses avanços, sem dúvida os fractais têm um futuro brilhante a frente.

REFERÊNCIAS

ARAGONA, Professores Jorge; DE OLIVEIRA, Oswaldo RB. **Números Complexos**. 2010.

BARNSLEY, Michael F.. **Fractals Everywhere**. 2. ed. San Diego: Morgan Kaufmann, 1988.

CHEN, J. N. et al. Fundamentals Of Computer Graphics: proceedings of the second pacific conference on computer graphics and applications, pacific graphics ⁚94. [S. I.]: World Scientific, 1994.

CHEN, Yan Qui; BI, Guoan. 3-D IFS fractals as real-time graphics model. **Computers & Graphics**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 367-370, maio 1997. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0097-8493(97)00014-9.

IBM. Fractal Geometry. 2012. Disponível em: https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/fractal/. Acesso em: 5 mar. 2023.

NORMAN, Jeremy. Vol Libre: the first fractal cgi movie. The First Fractal CGI Movie. 2023. Disponível em: https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3239. Acesso em: 16 mar. 2023.

SHIFFMAN, Daniel. The Nature of Code. [S. I.]: Daniel Shiffman, 2012. Disponível em: https://natureofcode.com/. Acesso em: 23 mar. 2023.

INTERFACE TECNOLÓGICA

SILVA, Daniel Duarte da. Números complexos. 2013. Disponível em: https://www.infoescola.com/matematica/numeros-complexos/. Acesso em: 5 mar. 2023.