

## Maycon Ricardo Sedrez

Arquiteto e Urbanista, mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, Rua Thimoteo Zendron, 26, Bairro Valparaíso, Blumenau, SC, CEP 89023-500, mayconsedrez@gmail.com

## Alice T. Cybis Pereira

Arquiteta e Urbanista, professora do Departamento de Expressão Gráfica do Centro de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC - PósARQ-CTC, Trindade, Florianópolis, SC, CEP 88040-900, acybis@gmail.com

## Resumo

Esta pesquisa resulta da experiência realizada com alunos de Arquitetura a partir da introdução de conceitos da geometria fractal na composição arquitetônica. Os autores elaboraram um conteúdo didático para o Ambiente Virtual de Aprendizagem em Arquitetura e Design, que aborda o potencial dos fractais como sistema generativo de formas no projeto arquitetônico assistido por computador (CAAD). A criação da disciplina "CAAD e criatividade" utiliza de estratégias pedagógicas específicas para o ensino de fractais na arquitetura e para o ensino a distância, que são explicadas neste artigo.

*Palavras-chave:* arquitetura fractal, projeto arquitetônico assistido por computador, ambiente virtual de aprendizagem.

A geometria fractal surge no final da década de 1970, resultante dos estudos de Mandelbrot (1983). Apesar de obras arquitetônicas usarem conceitos dos fractais muito tempo antes da definição teórica do tema (OSTWALD, 2001; LORENZ, 2002; HAGGARD, COOPER, GYOVAI, 2006), somente em 1985 é que um arquiteto relaciona o partido arquitetônico do projeto com esta geometria. Eisenman (1988) produziu para a Bienal de Veneza o projeto "Moving arrows, Eros and other errors" usando elementos da teoria dos fractais como a recursividade, a ser explicada adiante.

Então, a busca da geometria fractal como recurso projetual se torna mais comum de diversas maneiras nos anos subsequentes. Para a produção desta pesquisa utilizou-se dos fractais como ferramenta generativa de formas para o projeto de arquitetura. Entende-se que antes do aluno ter contato com a complexidade do projeto arquitetônico, ele deva manipular as formas, criar um vocabulário de formas (MAYER e TURNIEKICZ, 2008). Por isso, se pretende

investigar se a união da geometria fractal com a arquitetura produziria elementos úteis por seu sistema generativo de formas.

Neste ponto surge a questão: como ensinar fractais para estudantes de arquitetura? Fundamentando-se na pesquisa referencial de obras de arquitetura cujos arquitetos indicam a contribuição da geometria fractal para a composição do projeto, os autores encontraram metodologias que relacionam estes temas. Sendo assim, o desafio se tornou em transformar este conjunto de informações em um conteúdo acessível.

Os autores desenvolveram, então, a disciplina CAAD<sup>1</sup> e Criatividade que iniciou a distância e presencial no segundo semestre de 2008 para alunos de graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Um objeto virtual de aprendizagem produzido para o Ambiente Virtual de Aprendizagem em Arquitetura e Design (AVAAD) foi utilizado como

Obs: as notas numeradas com letras encontram-se no final do artigo, e as numeradas com algarismos encontram-se na coluna da esquerda, próximo ao texto a que se referem.

<sup>1</sup> CAAD – Computer-Aided Architectural Design: Projeto Arquitetônico Assistido por Computador.

<sup>2</sup> Hipertexto, segundo a definição de Filatro (2004): conjunto nós ligados por conexões, os nós podem ser palavras, imagens, gráficos, sons, documentos.

<sup>3</sup> Hiperlivro é o agrupamento do hipertexto em unidades (ou subunidades) que permite a navegação linear ou aleatória.

suporte para o conteúdo oferecido por intermédio de hipertexto<sup>2</sup>. Este ambiente é desenvolvido e mantido pelo Hiperlab da UFSC e utilizado pelos alunos que acompanham as disciplinas através dos capítulos de hiperlivros<sup>3</sup>.

Pereira (2007) explica que os ambientes virtuais de aprendizagem tornam acessíveis conteúdos através de computadores, neste caso servem de veículo de aproximação do estudante de arquitetura com o tema, fractais. O conteúdo formulado a partir de estratégias pedagógicas apropriadas ao ensino a distância explora os recursos do AVAAD diversificando as mídias.

O hipertexto é um suporte pedagógico eficiente, pois permite explorar o uso de imagens, animações, textos ou vídeos. Também foram utilizadas ferramentas síncronas e especialmente assíncronas de comunicação: correio eletrônico, links para web sites, Fóruns, compartilhamento de documentos, banco de dados; todos disponibilizados pelo AVAAD de maneira simples e acessível. A disciplina utiliza de softwares de domínio público como maneira de viabilizar a aprendizagem do conteúdo.

## Fractais

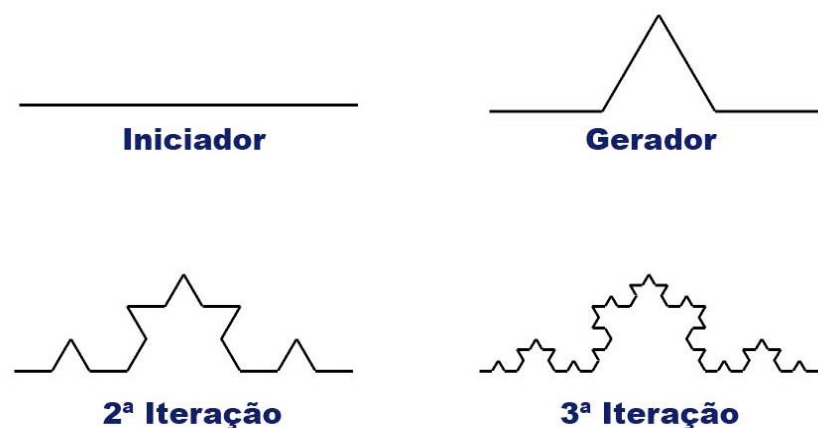
As características da geometria Fractal são amplas bem como suas aplicações. As formas fractais são extremamente irregulares e interrompidas. Mandelbrot (1998) explica que essas formas são naturais e caóticas e que a geometria fractal pode

ser representada pelos objetos rugosos, porosos ou fragmentados. Os fractais são irregulares, autossimilares, de complexidade infinita, desenvolvidos através de iterações, dependem de uma condição inicial e são comuns na natureza (LORENZ, 2002).

Iteração é o processo recursivo que forma o objeto fractal. É um procedimento infinito que na arquitetura se traduz em um número finito de iterações. Yessios (1987, tradução nossa) afirma: "o fractal, como um sistema generativo, consiste de uma forma inicial (a base) e um ou mais geradores. O gerador, do ponto de vista prático, é uma regra de produção: substitui cada e todos os segmentos da base com a forma do gerador<sup>A</sup>". 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 por trás dos fractais é que diante da iteração de uma fórmula simples se pode obter uma estrutura muito complexa e rica<sup>B</sup> (ESPANÉS, 1999:135)".

A figura 1 mostra o processo iterativo e recursivo da Curva de Koch. O iniciador é uma linha qualquer, que é dividida em três partes iguais e o segmento central é substituído por um triângulo equilátero sem a base. O gerador é uma linha com quatro segmentos de tamanho igual e também a primeira iteração. Em seguida o processo é repetido seguindo a mesma lógica, dividir cada segmento em três partes iguais e substituir pelo gerador. O exemplo mostra que

**Figura 1:** Curva de Koch.  
Fonte: do autor.



mais e mais detalhes surgem no objeto conforme se diminui a escala.

Os fractais são objetos geométricos que surgem de processos generativos onde um iniciador e um gerador são iterados recursivamente um número infinito de vezes. Assim outra característica dos fractais é revelada: uma parte de um fractal é igual, semelhante ou similar ao todo. “A forma de uma curva fractal se repete similarmente em escalas cada vez menores contendo cópias de si mesmas<sup>C</sup> (ESPANÉS, 1999:135)”. Isto é possível pois esses objetos são formados a partir da repetição do processo. Segundo Lorenz (2002, p. 10, tradução nossa) uma estrutura auto-similar se transforma modificando a estrutura pelo mesmo fator de escala, “a nova forma pode ser menor, maior, rotacionada e/ou invertida, mas a forma mantém-se similar<sup>D</sup> [...]”.

Os fractais lineares, criados por meio do processo generativo, podem incluir ainda transformações

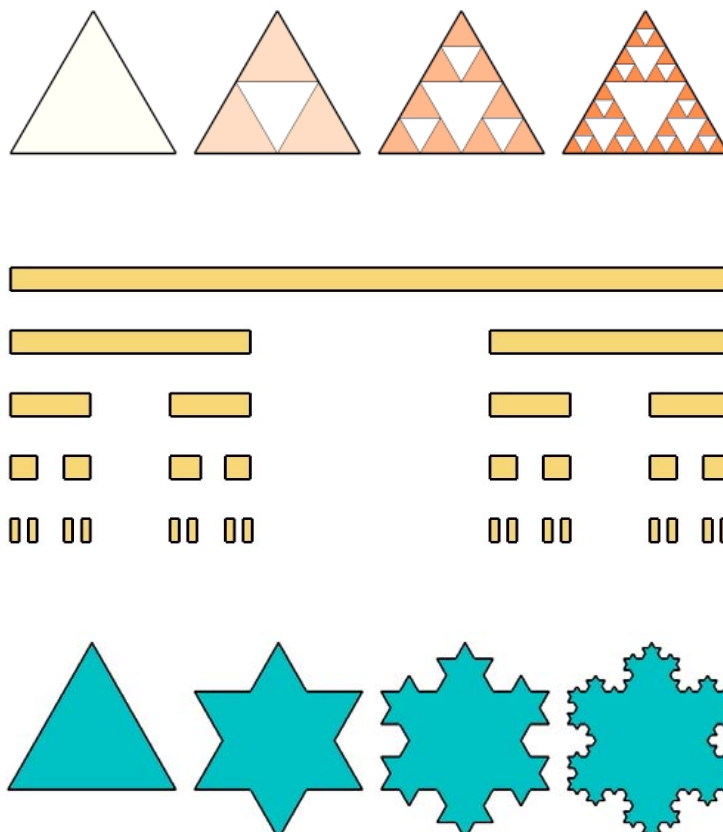
aleatórias controladas pelo desenhista, tornando-os mais ou menos simétricos. A seguir o processo iterativo dos fractais Triângulo de Sierpinski, Poeira de Cantor, Ilha de Koch e Curva de Peano são apresentados nas figuras 2, 3, 4 e 5 respectivamente. A criação destas e outras figuras faz parte das atividades de aproximação do aluno com os fractais para compreensão das suas características.

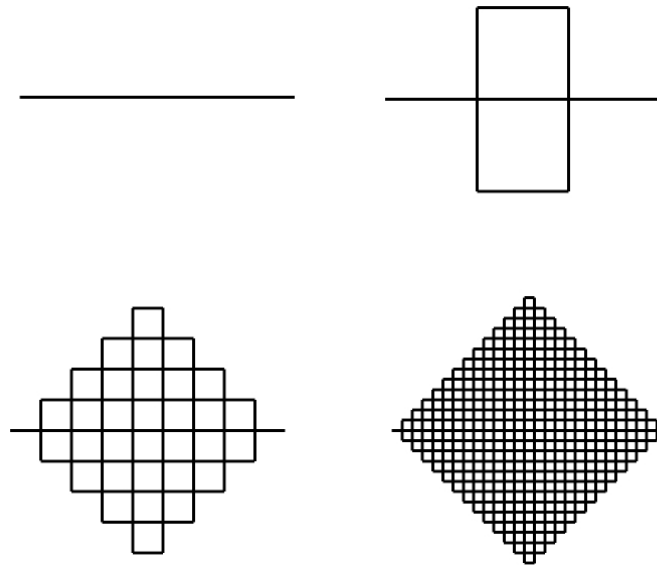
“A ideia por trás dos fractais é a iteração de expressões matemáticas simples com uma ordem rígida especificada na origem, onde se produz um comportamento tão complexo e irregular que parece aleatório<sup>E</sup>” (ESPANÉS, 2001, p. 144, tradução nossa). A ordenação da geometria fractal permite uma regulação inicial ao projeto utilizando simetria, assimetria e escalonamento. Diante desta realidade, o conhecimento sobre fractais contribuiria para o estudo da forma na arquitetura como alternativa morfológica. Para se entender a arquitetura fractal é preciso conhecer o processo iterativo e generativo da morfologia fractal.

**Figura 2:** Triângulo de Sierpinski. Fonte: Do autor.

**Figura 3:** Poeira de Cantor. Fonte: Do autor.

**Figura 4:** Ilha de Koch. Fonte: Do autor.





**Figura 5:** Curva de Peano.  
Fonte: Do autor.

Uma propriedade dos fractais, recentemente pesquisada, é dos sistemas generativos na elaboração de projetos, especialmente no contexto criativo. Celani (2003) explica que o design generativo é um processo de gerar formas a partir de regras e cita a geometria dos fractais como um exemplo de sistema generativo com atributos criativos. Espanés (2003, p. 118, tradução nossa) acredita que o uso da geometria Fractal como ordem geométrica “[...] no processo criativo [,] contribui para a tradução da ideia essencial para a forma arquitetônica<sup>F</sup>”. O processo generativo da geometria fractal inclui uma complexidade regulada que gera formas iniciais para o projeto que possibilitam diversas interpretações, conforme a vontade do aluno.

A recente utilização da forma fractal em projetos arquitetônicos e seu estudo podem trazer diferentes abordagens. Assim, a aplicação da geometria fractal em arquitetura tem certas limitações. Yessios (1987, tradução nossa), por exemplo, afirma que “um processo fractal, se ficar sem restrições, continua infinitamente. Além disso, se aplicado de uma maneira pura, irá criar uma forma interessante, mas jamais irá produzir um edifício<sup>G</sup>”. Neste trabalho o estudante aprende a avaliar, selecionar, e trabalhar com estas formas para produzir alguma arquitetura.

As pesquisas de Bovill (1996), Çagdas e Ediz (2004), Çagdas, Gözubuyuk e Ediz (2005, 2006), Capo (2004), Celani (2003), Eglash (s.d.), Eisenman (1988), Espanés (1999, 2001, 2003), Haggard, Cooper e Gyovai (2006), Jencks (2002), Joye (2007), Knutt (2006), Krawczyk e Ibrahim (2001), Li (2007), Lorenz (2002), Ostwald (2001), Sala (2000) Salingaros (2005), Vyzantiadou, Avdelas e Zafiropoilos (2007) e Yessios (1987) demonstram maneiras de aplicar a geometria fractal na arquitetura e quais são as qualidades desta aplicação.

## Arquitetura Fractal

Podem-se citar muitos projetos que se apropriam da forma de fractais, inclusive em períodos anteriores à criação do termo fractal. Alguns arquitetos contemporâneos deixam transparecer com evidência a inspiração fractal em seus projetos. A arquitetura fractal definida por Jencks (2002) é diversa em formas e os arquitetos trabalham com curvas, linhas, planos ou volumes que remetem aos fractais. Nos anos 1990, novas concepções arquitetônicas surgiram, sendo que Jencks (2002, p. 51) considera oito tendências pós-modernistas, ganhando certo destaque em sua obra a arquitetura fractal.

O hiperlivro, desenvolvido para a disciplina como objeto virtual de aprendizagem, cita os principais edifícios de arquitetura fractal. Esse panorama da arquitetura fractal está baseado na descrição de Jencks (2002) das obras de Enric Miralles, FOA, Zvi Hecker, Coop Himmelblau, Ashton Raggatt McDougall, Tom Mayne e Morphosis, Daniel Libeskind e Frank Gehry; na descrição de Baier e Sedrez (2001) da obra de Kisho Kurokawa; na descrição de Espanés (2003) das obras de Reima Pietilä, Steven Holl, Ferrater Canosa Figueras e Daniel Libeskind. Ostwald (2001) apesar de não indicar os projetos com formas fractais, cita os arquitetos: Eisenman, Asymptote, Charles Correa, Carlos Ferrater, Arata Isozaki, Christoph Langhof, Daniel Liebermann, Fumihiko Maki, Eric Owen Moss, Jean Nouvel, Philippe Samyn, Kazuo Shinohara, Aldo e Hannie van Eyck, Ben van Berkel e Caroline Bos, Peter Kulka e Ulrich Königs e Eisaku Ushida e Kathryn Findlay. E por fim, a arquitetura fractal descrita por Sedrez (2009) das obras de LAB Architecture Studio, Miguel Chevalier, Serero, MAPT, Jean Nouvel, Steven Holl, dECOi, I. M. Pei, Marc Fornes, Takeshi Miyakawa, Nosigner, Platform Wertel Oberfell e os projetos dos pavilhões desenvolvidos por estudantes da Architectural Association School of Architecture (A.A. School) de Londres.

Outras pesquisas buscaram a criação de modelos de aplicação da geometria fractal na arquitetura que podem ser divididos em três tipos: modelos conceituais, que usam a geometria fractal e seus conceitos como elemento norteador de suas teorias; modelos geométrico-matemáticos, que usam o esquema de contagem de quadrados para calcular a dimensão fractal ou usam cálculos computacionais para simulação fractal; e modelos geométrico-intuitivos, que usam a geometria como inspiração criativa para formas. Selecionou-se o modelo intuitivo de Espanés (2003) por ser o mais apropriado para inserir-se nas estratégias pedagógicas de um objeto virtual de aprendizagem e é perfeitamente transferível para um software de projeto assistido.

O modelo de Espanés (2003, p. 13, tradução nossa) surgiu da pesquisa para “[...] elaborar normas de desenho, geométricas e morfológicas para a aplicação da geometria fractal e determinar as relações criativas entre as ideias contidas entre essa nova ordem e as formas arquitetônicas<sup>H</sup>”. As atividades compositivas e projetuais contextualizadas por este modelo utilizam técnicas de maquetaria com materiais

como madeira e papel, para demonstrar aspectos fractais que produzam arquitetura. O vocabulário formal dos fractais serve para criar volumetrias onde o observador/projetista decide os aspectos estéticos que deseja ressaltar ou atingir.

A autora faz uma análise da morfologia dos fractais aplicados na arquitetura, sugere atividades compositivas e projetuais com uma preocupação maior na experimentação da forma. Portanto, os pesquisadores decidiram aproximar as atividades indicadas por Espanés com o exercício desenvolvido por Baier e Sedrez (2007). Partindo da abordagem matemática na história da arquitetura, Baier e Sedrez avançam até o uso de programas de computador para desenho de formas geométricas. Permitem, então, uma alternativa para o ensino de matemática voltado para o CAAD, utilizando um software de construção de gráficos em três dimensões.

Segundo Baier e Sedrez (2007), “as formas belas e complexas dos gráficos inspiram a elaboração de esboços de projetos arquitetônicos, contribuindo para a formação do arquiteto”. O aluno se sente à vontade para indicar uma função para um objeto cuja escala ele irá atribuir, mesmo sem dominar plenamente a técnica da arquitetura. Este exercício de criar uma forma com atributos estéticos e complexos para lhe sugerir um uso contribui para a formação do seu vocabulário visual. Na fase em que entram em contato com o conhecimento matemático, os graduandos em Arquitetura, ainda têm pouco conhecimento sobre programa arquitetônico, tecnologias construtivas e outros aspectos da arquitetura. Por isso, ainda é possível e fundamental uma liberdade criativa sobre as formas, resultando em propostas baseadas na experiência de cada aluno. Adiante serão expostas as propostas de alguns alunos, que vão desde objetos de pequena escala até conjuntos volumétricos.

## Hiperlivro Forma Fractal

A disciplina teve duração de dezoito semanas, sendo que nas primeiras duas semanas foram desenvolvidas atividades relacionadas com a familiarização do aluno de arquitetura com o AVAAD. Esse ambiente faz a mediação do processo de ensino-aprendizagem e também orienta a instalação do CAAD a ser utilizado, o Sketchup da Google. As dezesseis semanas restantes foram divididas em partes iguais para o

desenvolvimento de duas etapas. Na primeira etapa são introduzidos aspectos históricos e criativos de CAAD, e os comandos principais do software por meio de exercícios desenvolvidos para o trabalho de mestrado do arquiteto Bruno Ribeiro Fernandes juntamente com a professora Alice T. Cybis Pereira (FERNANDES, 2006), servindo como introdução para o Sketchup. A segunda etapa da disciplina, que é o foco deste artigo, é o hiperlivro *Forma Fractal* que apresenta os aspectos históricos e matemáticos da geometria fractal, a evolução das aplicações dos fractais na arquitetura, principais projetos e métodos, a aplicação e modelagem de arquitetura fractal.

4 Calunga "(brasileirismo): boneco pequeno; desenho sumário, representação da figura humana, que os arquitetos fazem para dar a idéia de escala ou dimensão da obra que projetam" (FERREIRA, 1999).

O design instrucional do hiperlivro *Forma Fractal* leva em consideração o checklist apresentado por Filatro (2004:68-69) para a elaboração de conteúdos para educação a distância. Nesta estratégia o designer instrucional define claramente o conteúdo e se é possível sua aplicação; planeja o desenvolvimento do conteúdo; verifica os requisitos para a implementação e avalia o resultado. Assim, com o levantamento de dados a respeito do tema concluído, a parte teórica da disciplina foi elaborada usando as ferramentas hipertextuais do AVAAD. A parte prática está orientada pelas atividades propostas pelo modelo de modelo de Espanés, verificando-se a necessidade de estar complementado pelo modelo de Baier e Sedrez.

Assim, desenvolveram-se estratégias de aprendizagem que estimulem a criatividade do aluno enquanto aprende a utilizar o software Sketchup. Através de técnicas de criação de formas os alunos compreendem as funções e comandos do software, compreendem as relações matemáticas do sistema generativo da geometria fractal e conhecem as potencialidades e fragilidades da arquitetura fractal. Optou-se por dividir o conteúdo em duas partes, a primeira tratando da geometria fractal e atividades generativas de fractais, e a segunda tratando da arquitetura fractal e atividades compositivas e projetuais.

A etapa 1 do hiperlivro *Forma Fractal* possui os capítulos *Geometria Fractal* e *Criando um Fractal* e os objetivos da aprendizagem foram trabalhados sob a ótica da Taxionomia de Objetivos Educacionais de Bloom (1972). Partindo dos domínios cognitivos descritos por Bloom (1972), definiu-se as seguintes orientações: conhecimento, o aluno deve escrever ou listar o que sabe sobre os fractais; compreensão, resumir o que é geometria fractal e quais seus

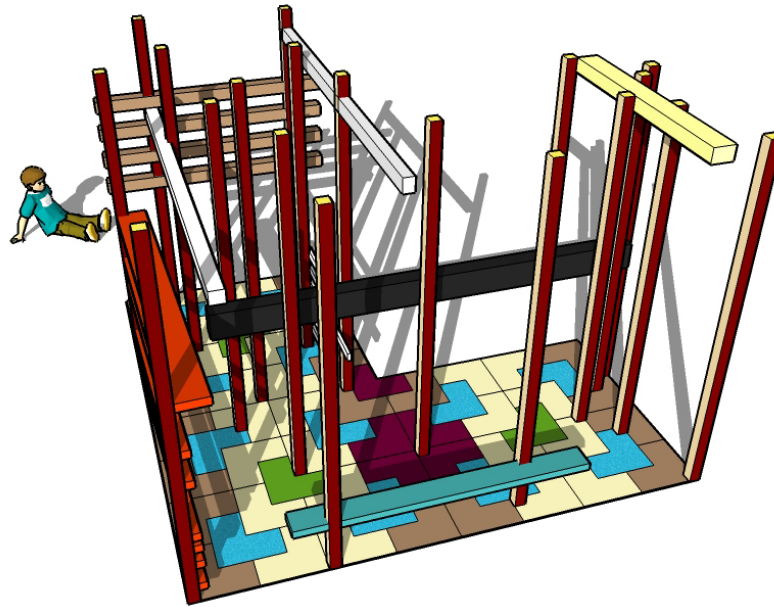
conceitos; aplicação, construir alguns fractais exemplificados em duas dimensões; análise, comparar o processo de desenho manual com o computadorizado; síntese, criar fractais novos considerando orientações iniciais; avaliação, julgar o trabalho. Seguindo o modelo de Baier e Sedrez, não foi imposto aos alunos nenhum programa arquitetônico específico nas atividades. As formas finais geradas dos fractais sugeridos foram adaptadas a programas livres conforme a criatividade do aluno. Assim, com o volume final definido após uma série de decisões geométricas, estéticas e criativas, o aluno indica a dimensão apropriada para aquele objeto fractal acrescentando calungas<sup>4</sup> e propondo indicações de arquitetura por meio de aberturas, paisagismo, mobiliário e superfícies/revestimentos/cores.

Resumidamente, estes dois primeiros capítulos iniciais contextualizam os fractais com a ciência contemporânea e a relação dos fractais com a natureza. Também descrevem as características matemáticas dos fractais possibilitando ao aluno a execução de atividades práticas. E finalizam mostrando os passos para gerar formas fractais para arquitetura com um número finito ou infinito de iterações.

Os alunos conhecem e desenharam fractais lineares, como o triângulo e o tapete de Sierpinski, conjunto de Cantor, floco de neve de Koch, curva de Peano, em duas dimensões. Nesta etapa, compreendem-se as características recursivas e generativas da geometria fractal e as atividades produzidas servem como elemento inicial para os capítulos seguintes, produzindo uma sequência de conhecimentos que se amplia. Essas atividades são de adição de objetos e são construídas através dos comandos *move/copy*, *rotate*, *orbit*, *pan*, *zoom*, *tape measure*, *paint bucket*, *eraser*, *line*, *rectangle*, *midpoint*, *endpoint* e atalhos que usam as teclas *control*, *alt* e *shift*. Os fractais não-lineares são explorados através de animações em Flash (TARBELL, 2008), de árvores fractais do software gratuito *TreeGenerator* (BONNEEL, 2008) e da renderização de atratores estranhos do software gratuito *Chaoscope* (DESPREZ, 2007).

A etapa 2 do hiperlivro conta com os capítulos *Arquitetura Fractal* e *Objetos Fractais*. Os objetivos da aprendizagem novamente elaborados sob a ótica da Taxionomia de Bloom (1972) apontam para os domínios cognitivos: conhecimento, o aluno deve





**Figura 6:** Traçado regulador.  
Fonte: autoria do aluno Luciano Santana Portella.

<sup>5</sup> Escada do Diabo: é um fractal gráfico da Poeira de Cantor, objeto fractal subdividido infinitamente em forma de escada.

<sup>6</sup> Extrusão “(do francês extrusion): passagem forçada de um metal ou de um plástico através de um orifício, visando conseguir uma forma alongada ou filamentosa” (FERREIRA, 1999). Derivações desta palavra com este significado são amplamente usadas por arquitetos devido aos programas de desenho em três dimensões que nomeiam o comando extrude. Extrude é um verbo que possui o significado de empurrar com força, forçar, prensar, expelir, formar com uma seção desejada forçando através, fazer saliência (HOUAISS, CARDIM, 1996; WEBSTER'S, 1996). Na inexistência do verbo “extrusar” ou “extrudar” na língua portuguesa, se optou por um verbo com significado mais próximo a este: perfilar.

escrever ou listar o que sabe sobre arquitetura fractal; compreensão, resumir o que é arquitetura fractal e os elementos onde podem ser utilizados fractais: planta, fachada, volume, revestimento; aplicação, a partir do fractal 2D elaborar uma volumetria, selecionar a escala (atividades compositivas); análise, comparar com a arquitetura fractal apresentada; síntese, criar propostas de arquitetura fractal nas atividades projetuais, desenvolver uma atitude crítica baseando-se nos exemplos anteriores e no trabalho dos colegas; avaliação, julgar o trabalho tomando como base o referencial de arquitetura apresentado. Conforme a metodologia de Portfólios de Behrens (2006), os alunos estabelecem a evolução do seu trabalho e dos colegas ao agrupar os trabalhos em pastas. Esta metodologia foi adaptada ao AVAAD através do recurso base de dados e Fóruns, que permitem a visualização do trabalho em diferentes formatos e possuem espaço para comentários.

Nestes capítulos os alunos acessam um panorama da arquitetura fractal, conhecendo os principais projetos, citados anteriormente e fazem a seleção e análise de um projeto. Em seguida são exemplificadas as atividades compositivas de objetos fractais: Cubo Fractal, Escada do Diabo<sup>5</sup> em três dimensões, Curva de Hilbert com extrusão<sup>6</sup> da planta, árvore de crescimento fractal com extrusão do corte e definição

de escala e Triângulo de Sierpinski com extrusão da planta e definição de escala. O comando make group e as linhas guias do tape measure podem ser usados criativamente quando se compreende a simetria dos objetos como no caso do Cubo Fractal. As atividades são de subtração de elementos e os atalhos de seleção de objetos utilizados são: clique único, duplo clique e triplo clique do mouse, clique com shift e com control. Também é demonstrado o uso da ferramenta protractor que cria linhas guias no ângulo desejado, muito útil na geração de formas complexas.

Por fim são propostas atividades projetuais de arquitetura fractal elencadas a seguir. Estas atividades originaram-se nos exemplos de Espanés (2003) e sofreram adaptações para o ensino on-line de CAAD.

Traçado regulador: a partir do fractal “L” o aluno deve montar uma composição de elementos verticais e horizontais cuja disposição será regulada pela planta baixa. As escolhas pelo tipo de objeto, pelas dimensões e materiais ficam a critério do aluno, que pode compor os elementos aleatoriamente ou seguindo um padrão numérico ou simétrico. O aluno Luciano criou uma composição de um playground indicando a escala apropriada (figura 6). Os alunos

compreendem como os pontos médios das linhas contribuem para a definição do objeto. Também percebem a diferença entre os comandos agrupar elementos (make group) ou criar componentes (make component), sendo que este segundo possui a qualidade de modificar todos os componentes iguais de uma única vez. O traçado regulador define um volume complexo aparentemente irregular. Este tipo de ordem é útil como experimentação e recurso para o projeto arquitetônico.

Seção perfilada da planta baixa: exemplificada com o fractal dragão, mas, os alunos poderiam utilizar qualquer objeto já desenhado anteriormente. O objetivo é perfilar, em partes ou por inteiro, os planos subdivididos de um fractal qualquer, novamente a distribuição pode seguir regras simétricas e de proporção, evocando no aluno a noção da composição e da escala. O aluno Luiz preferiu utilizar o Triângulo de Sierpinski para a construção de um edifício de escritórios com dezesseis andares (figura 7). Nesta atividade foi solicitado para trabalhar o aspecto estético através de cores, elementos e

estilos. Os alunos compreendem como trabalhar com ângulos não usuais e a função da ferramenta offset. A seção perfilada da planta baixa traz a compreensão de como uma composição em arquitetura pode se desenvolver com adição ou subtração de elementos através de uma ordem complexa. A percepção para a proporção dos elementos em planta e no volume é aguçada.

Módulos fractais bidimensionais: a curva de Hilbert, já desenhada anteriormente, pode ser utilizada de duas maneiras (figura 8) e ainda pode ser girada, invertida, espelhada, possibilitando mais configurações. O comando rotate nos três eixos é importante para a composição dos módulos bidimensionais. Os módulos são perfilados e justapostos por meio da agregação de elementos. Os alunos regulam esta composição, criando um ritmo de elementos. Algumas indicações de arquitetura são solicitadas, além da definição da escala através do calunga, por exemplo, escadas, esquadrias, paisagismo. A aluna Leticia propõe um edifício residencial com unidades geminadas (figura 9).

**Figura 7:** Seção perfilada da planta baixa. Fonte: autoria do aluno Luiz Henrique Fernandes.



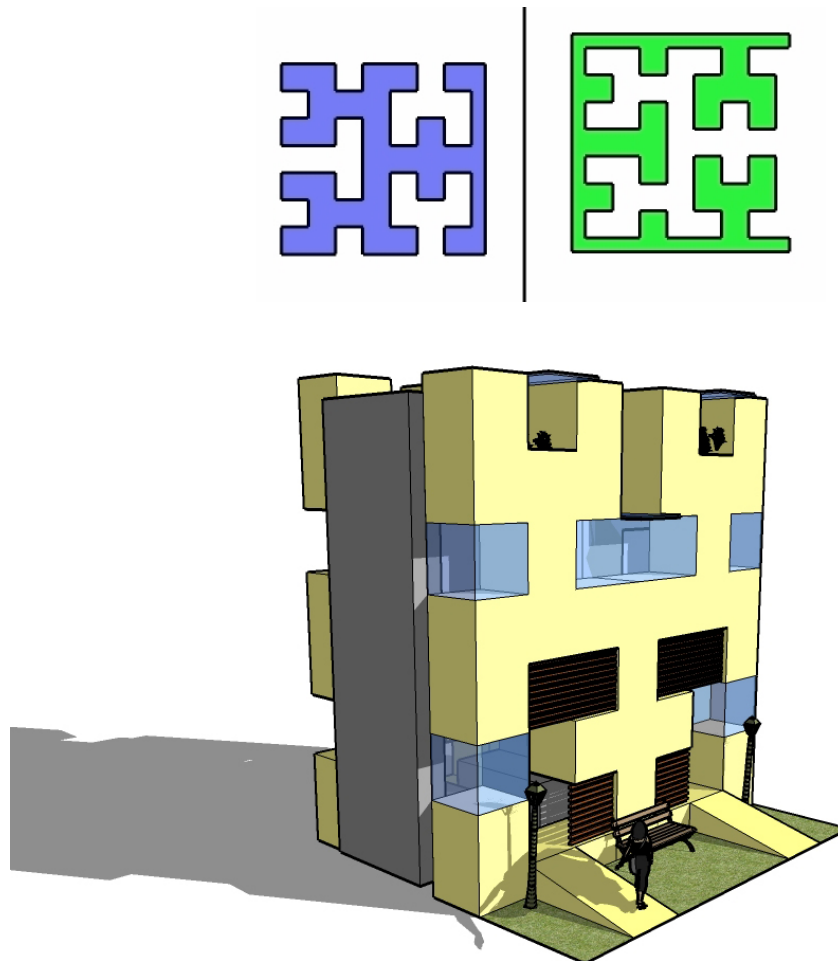


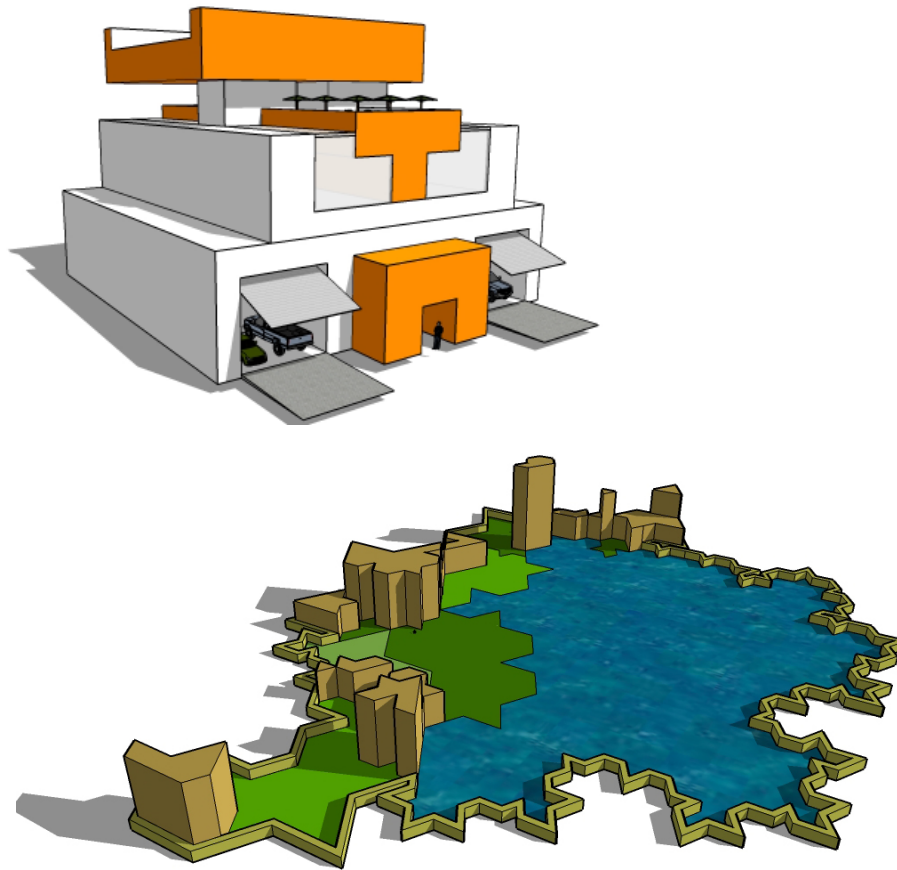
Seção perfilada do corte: novamente o aluno pode usar a Curva de Hilbert ou outro objeto desenhado anteriormente. Ele deve reproduzir o mesmo fractal três vezes e perfilar de maneira diferente cada um dos cortes ou vistas. Em seguida ele deve compor um objeto único, utilizando estes três elementos agora sólidos. Aprofunda-se o comando rotate, o comando make group, a união de planos e a aplicação de cores. A definição da escala deve ser aprimorada, aproximando-se cada vez mais de uma maquete de um projeto arquitetônico. A aluna Patrícia elabora um edifício multifuncional para festas e reuniões (figura 10). Neste ponto a composição se torna mais complexa, produzindo trabalhos que demandam uma maior elaboração da distribuição estética de elementos.

**Figura 8:** Positivo e negativo da curva de Hilbert. Fonte: do autor.

**Figura 9:** Módulos fractais bidimensionais. Fonte: autoria da aluna Letícia Longo Triches.

Sobreposição de escalas: são exemplificados, para esta atividade projetual, o princípio da Curva de Koch e do Triângulo de Sierpinski. Os alunos devem triplicar o objeto que decidir trabalhar em três escalas diferentes, sobrepondo-os. Na interseção dos planos são selecionadas regiões para formar um volume, uma praça e um território. Essa atividade pretende analisar a percepção do aluno para a questão da escala urbana e como os edifícios podem estar inseridos no contexto. O fractal serve como malha reguladora. Por se tratarem de atividades de composição abstrata, a volumetria da paisagem ainda não foi considerada. O aluno Fernando fez um complexo de edifícios à margem de um lago ou represa. Nesta atividade a maioria dos trabalhos apresentou apenas intenções volumétricas (figura 11).





**Figura 10:** Seção perfilada do corte da aluna Patrícia Ramos.

**Figura 11:** Sobreposição de escalas do aluno Fernando Carneiro Pires.

## Conclusão

Este trabalho visa proporcionar ao aluno de Arquitetura maneiras de manipular as formas, antes de aprofundar os conhecimentos no projeto arquitetônico. Nesta fase do curso ele pode explorar morfologias mais livremente. Nestas atividades para o hiperlivro *Forma Fractal* utilizou-se do conceito de emergência de função (BAIER; SEDREZ, 2007; MAYER; TURKIENICZ, 2008). Percebeu-se uma boa aceitação por parte dos alunos ao conteúdo e ao modelo adotado. Notou-se que as formas produzidas por cada aluno partindo do mesmo fractal base resultaram em objetos completamente diferentes entre si. Estas questões foram relatadas pelos alunos nos comentários das atividades.

Os alunos desenvolveram seus conhecimentos sobre o software e formas complexas, aprimorando seu vocabulário visual. Aos alunos foram ensinados

atalhos e comandos úteis no processo de desenho de fractais que servem para qualquer outro projeto. As decisões sobre o uso do software para gerar as formas e selecionar as escalas foram intuitivas, ou seja, transcorreram naturalmente sem demandar muito esforço. As propostas apresentaram a harmonia e simetria características dos fractais, mas por serem composições iniciais, os alunos ainda não resolvem completamente questões como combinação de cores e materiais.

Destaca-se a percepção dos alunos da geometria fractal como trama reguladora que possibilita a composição criativa. Os projetos propostos pelos alunos são de características múltiplas. Desta maneira, verifica-se a diversidade da arquitetura fractal, podendo ser incorporada em qualquer nível de projeto. Esta característica tem suporte no estudo feito pela A.A. School (KNUTT, 2006), cujos alunos orientados por professores de diversas áreas

elaboram e constroem um pavilhão de pequeno porte.

Verificou-se um bom nível de compreensão do conteúdo, bem como resultados criativos que ressaltaram o gosto pessoal de cada aluno. As maquetes eletrônicas produzidas não chegaram a ser detalhadas, e este é um passo que se pretende dar com a evolução da disciplina. A próxima etapa será a discussão e avaliação da proposta de ensino de fractais na arquitetura.

Percebeu-se a necessidade de um tempo maior para as atividades projetuais. Outra questão que também pode ser abordada é a elaboração completa de uma das atividades, onde o aluno apresentaria o projeto arquitetônico mais detalhado para um local real. Esta pesquisa mostrou que a principal qualidade da geometria fractal para arquitetura é o seu sistema generativo de formas.

Todas as atividades podem incluir outros objetos fractais e principalmente aprimorar a utilização de fractais não-lineares. Para tanto será necessário avançar a pesquisa sobre os programas de computador disponíveis que façam uma leitura de objetos fractais com um número alto de iterações. Pretende-se continuar o desenvolvimento de atividades com fractais para formas arquitetônicas. Criar um conjunto de atividades de composição da forma para alunos de Arquitetura desenvolverem antes de entrarem nos aspectos técnicos do projeto de arquitetura é a continuidade desta pesquisa. Por fim agradecemos aos alunos participantes desta disciplina e a todos que contribuíram para o trabalho.

## Referências Bibliográficas

- BAIER, Tânia; SEDREZ, Maycon R. Geometria fractal e arquitetura contemporânea – Kisho Kurokawa. In: Salão de Iniciação Científica, 13., 2001, Porto Alegre. Anais... . Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- \_\_\_\_\_. Uso de gráficos de funções matemáticas, construídos com recurso computacional, na elaboração de projetos arquitetônicos: uma proposta pedagógica. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 30., 2007, Florianópolis. Anais... . Florianópolis: SBMAC, 2007.
- BEHRENS, Marilda Aparecida. Paradigma da complexidade: metodologia de projetos, contratos didáticos e portfólios. Petrópolis: Vozes, 2006.
- BLOOM, Benjamin Samuel. Taxionomia de objetivos educacionais. Porto Alegre: Globo, 1972. Vol. 1 Domínio Cognitivo.
- BONNEEL, Nicolas. TreeGenerator. Atualizada em: 28 Fevereiro 2008. Disponível em: <<http://www.tree-generator.com/>> Acesso: 10/05/2008.
- BOVILL, Carl. Fractal geometry in architecture and design. Boston: Birkhäuser, 1996.
- ÇAGDAS, Gulen; GÖZUBUYUK, Gaye; EDİZ, Özgür. Fractal based design model for different architectural languages. In: GameSetMatch II International Conference 2006, on Computer Games, Advanced Geometries and Digital Technologies. Universidade de Tecnologia de Delft, Holanda, 29 Março - 1 Abril 2006, p. 280-286. Disponível em: <<http://www.be.itu.edu.tr/lisansustu/mimarliktabilisim/content/pdfler/gayedelft06-bildiri.pdf>> Acesso: 18/11/2008.
- \_\_\_\_\_. Fractal based generative design for harmony between old and new. In: GA 2005 8th International Conference on Generative Art, Generative Art 2005 Proceedings, Universidade Politécnica de Milão. Milão. Itália. Dezembro 2005, p. 150-159. Disponível em: <[http://www.mimarliktabilisim.itu.edu.tr/content/pdfler/Fractal\\_based\\_generative\\_design.pdf](http://www.mimarliktabilisim.itu.edu.tr/content/pdfler/Fractal_based_generative_design.pdf)> Acesso: 10/02/2008.
- ÇAGDAS, Gulen; EDİZ, Özgür. A computational architectural design approach based on fractals at early design phase. In: ECPPM 2004: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, Ed: A. Dikbas, R. Scherer, Balkema Publishers, Setembro 2004, p. 635 - 640. Disponível em: <[http://www.mimarliktabilisim.itu.edu.tr/content/pdfler/ecppm\\_Computational\\_Architectural\\_Design\\_Approach\\_Fractals.pdf](http://www.mimarliktabilisim.itu.edu.tr/content/pdfler/ecppm_Computational_Architectural_Design_Approach_Fractals.pdf)> Acesso: 18/11/2008.
- CAPO, Daniele. The fractal nature of the architectural orders. Nexus Network Journal, vol. 6, no. 1, 2004. Disponível em: <<http://www.nexusjournal.com/Capo.html>> Acesso: 23/06/2007.
- CELANI, Maria Gabriela. CAD criativo: exercícios para desenvolver a criatividade de arquitetos na era digital. São Paulo: Campus, 2003.
- DESPREZ, Nicolas. Chaoscope. Atualizada em: 31 Março 2007. Disponível em: <<http://www.chaoscope.org>> Acesso: 10/01/2008.
- EGLASH, Ron. Fractais Africanos. Homepage Ron Eglash. S.D. Disponível em: <<http://www.rpi.edu/~eglash/eglash.htm>> Acesso: 24/01/2009.
- EISENMAN, Peter. "Eisenmanesie". Architecture + Urbanism. Ed. Extra: 1988. p. 70.
- ESPANÉS, Inés Moisset de. Fractales y formas arquitectónicas. Córdoba: I+P División Editorial, 2003.
- \_\_\_\_\_. El desafio de los fractales. Summa+. Buenos Aires: Donn S.A., n. 51, outubro e novembro 2001. p. 144.
- \_\_\_\_\_. Complexity, fractals, architecture. Quaderns d'arquitectura i urbanisme. Catalunho: ARCE – Asociación de Revistas Culturales de España, n. 222, 1999. p. 132 -135.
- FERNANDES, Bruno Ribeiro. Estratégias pedagógicas de uso de técnicas de computação gráfica como instrumento de apoio ao processo criativo de projeto de arquitetura. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

- FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- FILATRO, Andrea. Design instrucional contextualizado: educação e tecnologia. São Paulo: Ed. SENAC, 2004.
- HAGGARD, Kenneth; COOPER, Polly; GYOVAI, Christine. Fractal architecture: design for sustainability. North Charleston: BookSurge Publishing, 2006.
- HOUAISS, Antônio; CARDIM, Ismael. Novo dicionário Folha Webster's. São Paulo: folha de São Paulo, 1996.
- JENCKS, Charles. The new paradigm in architecture: the language of post-modernism. New Haven: Yale Press University, 2002.
- JOYE, Yannick. Fractal architecture could be good for you. Nexus Network Journal, vol. 9, no. 2, 2007. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/d46846t147716m47/>> Acesso: 30/01/2009.
- KNUTT, Elaine. Building for the future. Building Design, 23 Jun. 2006. Disponível em: <<http://www.bdonline.co.uk/story.asp?sectioncode=453&storycode=3069350>> Acesso: 17/11/2007.
- KRAWCZYK, Robert J.; IBRAHIM, Madgy M. Generating fractals based on spatial organizations. 2001. Disponível em: <<http://www.iit.edu/~krawczyk/fract01.pdf>> Acesso: 13/09/2008.
- LI, C. L.; et al. Modelling of complex fractal objects for aesthetic product development. International Journal of Product Development, vol. 4, no. 3/4, 2007, p. 207-224. Disponível em: <[http://www.inderscience.com/search/index.php?action=record&rec\\_id=12492&prevQuery=&ps=10&m=or](http://www.inderscience.com/search/index.php?action=record&rec_id=12492&prevQuery=&ps=10&m=or)> Acesso: 10/03/2008
- LORENZ, Wolfgang E. Fractals and fractal architecture. Dissertação de Mestrado, Universidade de Tecnologia de Viena, Viena, 2002.
- MANDELBROT, Benoit B. The fractal geometry of nature. New York: W. H. Freeman, 1983.
- \_\_\_\_\_. Objetos fractais: forma, acaso e dimensão seguido de panorama da linguagem fractal. 2 ed. Lisboa: Gradiva, 1998. Tradução de: Les objects fractals.
- MAYER, Rosirene; TURKIENICZ, Benamy. The cognitive studio: exercises in design learning. In: Third International Conference on Design Computing and Cognition DCC08. Anais... Atlanta: DCC08, 2008.
- OSTWALD, Michael J. "Fractal architecture": late twentieth century connections between architecture and fractal geometry. Nexus Network Journal, vol. 3, no. 1 (Winter 2001). Disponível em: <<http://www.nexusjournal.com/Ostwald-Fractal.html>> Acesso: 23/06/2007.
- PEREIRA, Alice Cybis (Org). Ambientes virtuais de aprendizagem em diferentes contextos. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2007.
- SALA, Nicoletta. Fractal models in architecture: a case of study. In Proceeding of the International Conference on "Mathematics for Living", Jordânia, p. 18-23. Novembro 2000. Disponível em: <<http://dipmat.math.unipa.it/~grim/Jsalaworkshop.PDF>> Acesso: 15/10/2007.
- SALINGAROS, Nikos A. Principles of urban structure. Amsterdam: Techne Press, 2005.
- SEDRIZ, Maycon R. Forma fractal no ensino de projeto arquitetônico assistido por computador. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2009.
- TARBELL, Jared. Complexification. Atualizada em: 2008. Disponível em: <<http://www.complexification.net/gallery/>>. Acesso em: 17/12/2008.
- VYZANTIADOU, M. A.; AVDELAS, A. V.; ZAFIROPOULOS, S. The application of fractal geometry to the design of grid or reticulated shell structures. Computer-Aided Design, Volume 39, N. 1, Janeiro, 2007. P. 51-59. Disponível em: <[http://www.math.zju.edu.cn/cagd/Seminar/2007\\_SpringSummer/2007\\_Spring\\_Doctor\\_XG\\_ref6.pdf](http://www.math.zju.edu.cn/cagd/Seminar/2007_SpringSummer/2007_Spring_Doctor_XG_ref6.pdf)> Acesso: 19/11/2007.
- WEBSTER'S encyclopedic unabridged dictionary of the english language. New York: Gramercy Books, 1996.
- YESSIOS, Chris I. A fractal studio. In Proceedings of the Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture – ACADIA 87, Carolina do Norte – EUA, p. 169-182, Novembro 1987. Disponível em: <<http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?0cb8>> Acesso: 10/10/2008.W

---

## Notas

<sup>A</sup> The fractal, as a generative system, consists of an initial state of a shape (the base) and one or more generators. The generator, from the practical point of view, is a production rule: replace each and every line segment of the base with the shape of the generator.

<sup>B</sup> The idea underlying behind the fractals is that it is possible to obtain a very complex and rich structure by means of the iteration of a plain formula.

<sup>C</sup> The shape of the fractal curve repeats itself on scales increasingly smaller containing infinite copies of themselves.

<sup>D</sup> The new shape may be smaller, larger, rotated, and/or translated, but its shape remains similar.

<sup>E</sup> La idea que subyace tras los fractales es que mediante la iteración de expresiones matemáticas simples con un orden muy rígido completamente especificado en el origen, se puede producir un comportamiento tan complejo e irregular que parece aleatorio.

<sup>F</sup> [...] el uso del orden geométrico en el proceso creativo contribuye a la traducción de la idea-esencia a la forma arquitectónica.

<sup>G</sup> A fractal process, if left unrestrained, will go on for ever. In addition, if applied in a 'pure' fashion, it will create an interesting shape but will never produce a building.

<sup>H</sup> [...] elaborar pautas de diseño, geométricas y morfológicas para la aplicación de la geometría fractal y determinar las relaciones creativas entre las ideas contenidas entre este nuevo orden y las formas arquitectónicas.

## **CAAD and Creativity, an experiment with fractal architecture**

Maycon Ricardo Sedrez, Alice T. Cybis Pereira

### **Abstract**

This research results from the experience held with architecture students starting from the introduction of fractal geometry concepts for architectural composition. The authors elaborated a didactic content for the Architecture and Design Virtual Learning Environment about the potential of the fractals as generative shape system in the computer-aided architectural design. The creation of the 'CAAD and Creativity' course uses specific pedagogical strategies in teaching fractals in the field of architecture as well as for distance teaching, which are explained in this article.

*Keywords:* fractal architecture, computer-aided architectural design, virtual learning environment.

## **CAAD y creatividad, una experiencia con arquitectura fractal**

Maycon Ricardo Sedrez, Alice T. Cybis Pereira

### **Resumen**

Esta investigación es el producto del resultado de una experiencia hecha con alumnos de arquitectura con base en la introducción de conceptos de la geometría fractal en la composición arquitectónica. Los autores elaboraron un contenido de enseñanza para ser utilizado en el Ambiente Virtual de Aprendizaje en Arquitectura y Design, que aborda el potencial de los fractales como sistema generativo de formas en el proyecto arquitectónico a través del computador (CAAD). La creación de la asignatura 'CAAD y creatividad' es para utilizar estrategias pedagógicas específicas para la enseñanza de los fractales en la arquitectura y para la enseñanza a distancia, que se explican en el presente artículo.

*Palabras clave:* arquitectura fractal, proyecto arquitectónico a través de computador, ambiente virtual de aprendizaje.