

Universidade Regional de Blumenau  
Trabalho de Conclusão de Curso  
Bacharel em Ciências da Computação  
Orientador: Dalton Solano dos Reis  
Aluno: José Carlos dos Santos

Protótipo de Uma Ferramenta  
Baseada em Sistemas de  
Lindenmayer Para Modelagem de  
Estruturas Fractais

# Roteiro

- 1 Introdução
- 2 Sistemas Dinâmicos, Caos e Fractais
- 3 Reescrita e Sistema-L
- 4 Interpretação Gráfica
- 5 Descrição e Especificação do Protótipo
- 6 Conclusões e Extensões

# 1 Introdução

- Padrões de comportamento das diversas dinâmicas não eram facilmente representados algebricamente.
- Estudo dos Sistemas Dinâmicos.
- Noção de Caos e Fractais.
- Sistemas Dinâmicos Simbólicos.
- Sistemas de Lindenmayer (Sistema-L).

# 1.1 Objetivo

Implementação um protótipo de ferramenta baseada em Sistemas de Lindenmayer ou Sistema-L determinísticos e estocásticos para modelagem de estruturas fractais em duas dimensões, assim como: ramificação de plantas e arbustos, estruturas fractais, texturas e curvas de preenchimento.

## 2 Sistemas Dinâmicos

- Basicamente, todo processo que evolui no tempo, pode ser considerado um sistema dinâmico.
- Estão presentes na economia, meteorologia, ecologia, astronomia e, principalmente, na biologia.
- Pode estar presente em processos naturais ou artificiais.
- Podem ser previsíveis ou imprevisíveis.

# 2.1 Caos

- Caos é a irregularidade imprescindível do comportamento nos sistemas dinâmicos determinísticos não lineares.
- O estudo do caos está relacionado com o avanço da capacidade de processamento dos computadores.
- Além de a natureza ser caótica, muitos processos matemáticos exibem comportamentos nunca vistos.

## 2.2 Fractais

- Fractal é um objeto que apresenta dimensão expressa por um número real, é auto-similar e fruto de um processo iterativo.
- É uma extensão da geometria clássica e possui caráter interdisciplinar.
- Fractal e Caos são diferentes.
- A geometria fracionária é considerada uma das maiores descobertas deste século.

## 2.3 Duas Maneiras de Vermos o Mundo

### GEOMETRIA

Linguagem matemática usada para descrever, relacionar e manipular formas.

#### *EUCLIDIANA*

- Tradicional (> 2000 anos).
- Baseados em escala ou Tamanho.
- Serve para representar os objetos que o homem cria.
- É descrita através de Fórmulas.

#### *FRACTAL*

- Pós-moderno (~20 anos);
- Não possui tamanho ou escala específica.
- É apropriada para formas Naturais.
- Utiliza algoritmos Recursivos e iteração.

## 2.4 Principais Elementos da Geometria Fractal

- **Auto-Similaridade:** capacidade de representar o todo através de um subconjunto. Poder ser exata ou estatística;
- **Dimensão Fractal:** é uma medida que indica a complexidade do objeto fractal.
- **Iteração:** repetição de um processo inúmeras vezes.

# 3 Reescrita e Sistema-L

- A reescrita é o conceito básico dos Sistemas-L, capaz de criar objetos complexos através de substituição recursiva de partes simples de um objeto inicial, utilizando o que se chama de regra de reescrita ou regra de produção.
- Sistema-L é um tipo de Sistema Dinâmico Simbólico, criado por Aristid Lindenmayer em 1968 e aplicado na computação em 1986.

## 3.1 Elementos Sistema-L

- **Alfabeto:** é um conjunto finito de símbolos formais, representado por  $V$ .
- **Axioma:** é uma cadeia de caracteres, chamado de palavra, representado por  $V^*$  ou  $W$ .
- **Produções:** também chamada de regra de reescrita, é um mapeamento de um símbolo  $a \in V$  em uma palavra  $W \in V^*$  representado por:

$$p_n : a \rightarrow W$$

# 3.3 Exemplo

Axioma  $F++F++F$

Regra  $\rho_1: F \rightarrow F-F++F-F$  tem-se:

Nível de reescrita 0

$F++F++F$

Nível de reescrita 1

$F-F++F-F++F-F++F-F++F-F$

Nível de reescrita 2

$F-F++F-F-F-F++F-F++F-F++F-F-F-F++F-F++F-F-F-$   
 $F++F-F++F-F++F-F-F-F++F-F++F-F-F-F++F-$   
 $F++F-F++F-F-F-F++F-F$

## 3.4 Tipos de Sistema-L

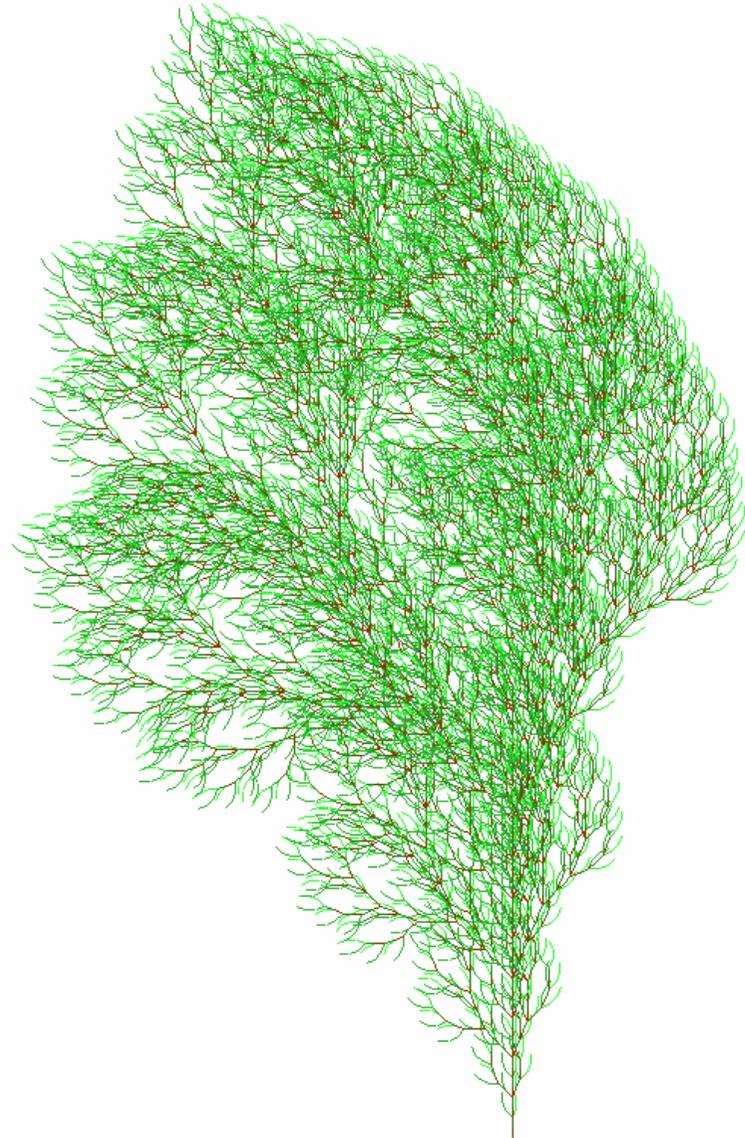
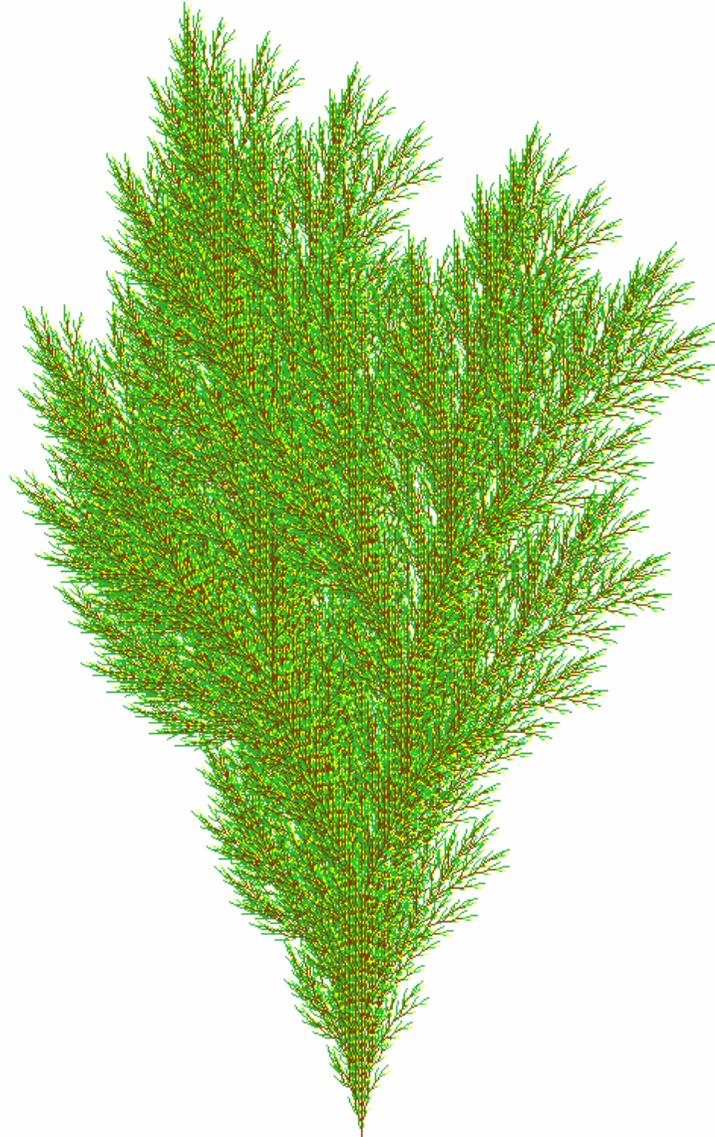
- Sistema-LD0

É a classe mais simples de Sistema-L.  
Não possuem processamento especial na reescrita

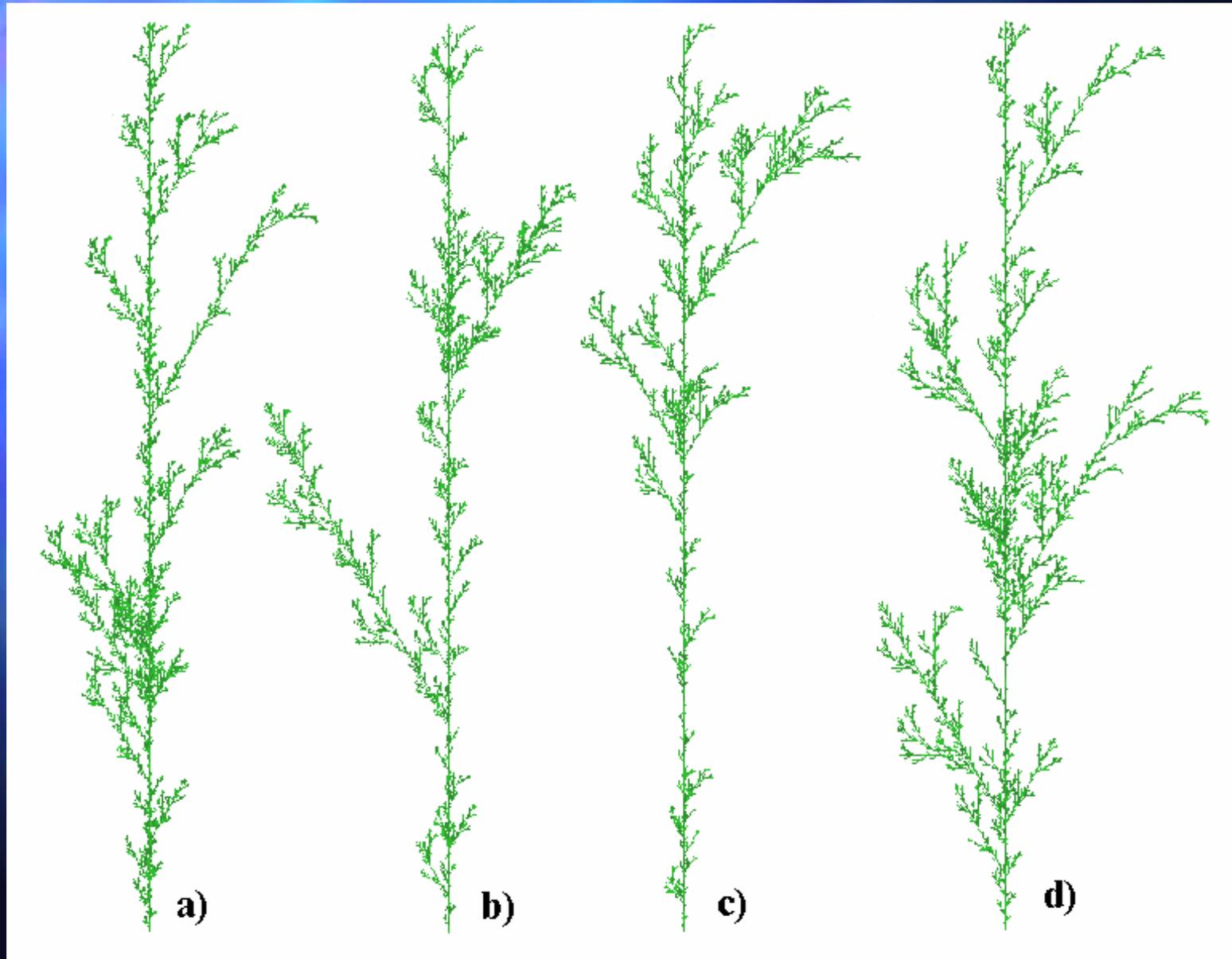
- Sistema-L Estocástico

São Sistemas-L que utilizam estatística e cálculos randômicos na reescrita.  
Diversas abordagens podem ser tomadas.

## 3.4.1 Sistema-LD0



## 3.4.2 Sistema-L Estocástico



# 4 Interpretação Gráfica

- Necessidade de representar graficamente o que era produzido pela reescrita.
- Dentre as várias propostas apresentadas, a mais eficiente, foi a baseada em Logo.
- Através de um comprimento  $d$  e um incremento angular  $\delta$ , o axioma expandido é interpretado e resulta uma imagem

## 4.1 Tabela de Caracteres

Símbolos que são interpretados pela Tartaruga Gráfica

**F** move a tartaruga um passo para frente  $(x',y',\alpha)$ , onde  $x' = x + d \cos \alpha$ ,  $y' = y + d \sin \alpha$  e  $\alpha$  é o ângulo de desvio. Um seguimento de reta entre  $(x,y)$  e  $(x',y')$  é desenhado.

**f** move a tartaruga um passo para frente sem desenharmos um seguimento de reta.

# 4.1 Tabela de Caracteres

Símbolos que são interpretados pela Tartaruga Gráfica (continuação)

- + vira a esquerda (anti-horário) um ângulo  $\alpha$ .  
O estado atual da Tartaruga é  $(x, y, \alpha + \delta)$ .
- vira a direita (horário) um ângulo  $\alpha$ . O estado atual da Tartaruga é  $(x, y, \alpha - \delta)$ .

## 4.1 Tabela de Caracteres

Símbolos que são interpretados pela Tartaruga Gráfica (continuação)

[ empilha posição da Tartaruga.

] Desempilha posição da Tartaruga.

| vira 180°.

0..9 índice para uma paleta de cores.

## 4.2 Exemplo

Dada a seguinte definição Sistema-L:

Direções	6
Axioma	$F++F++F$
Regras	$p_1:F \rightarrow F-F++F-F$

Dado um nível de reescrita, resulta em:

$F-F++F-F++F-F++F-F++F-F++F-F$

## 4.2 Exemplo (Interpretação Gráfica)

Dado um nível de reescrita, resulta em:

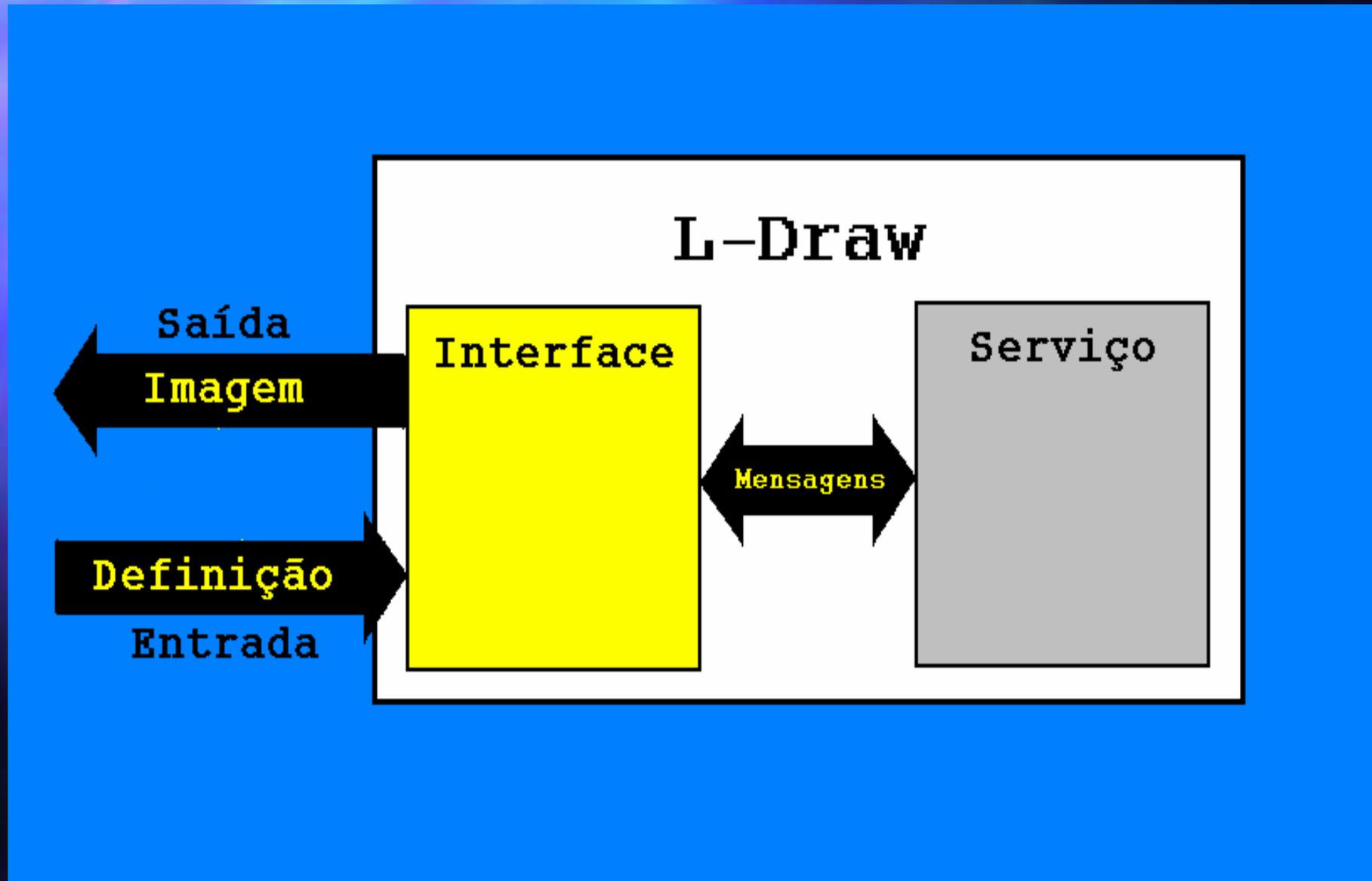
F-F++F-F++F-F++F-F++F-F++F-F



# 5 Descrição e Especificação do Protótipo (L-Draw)

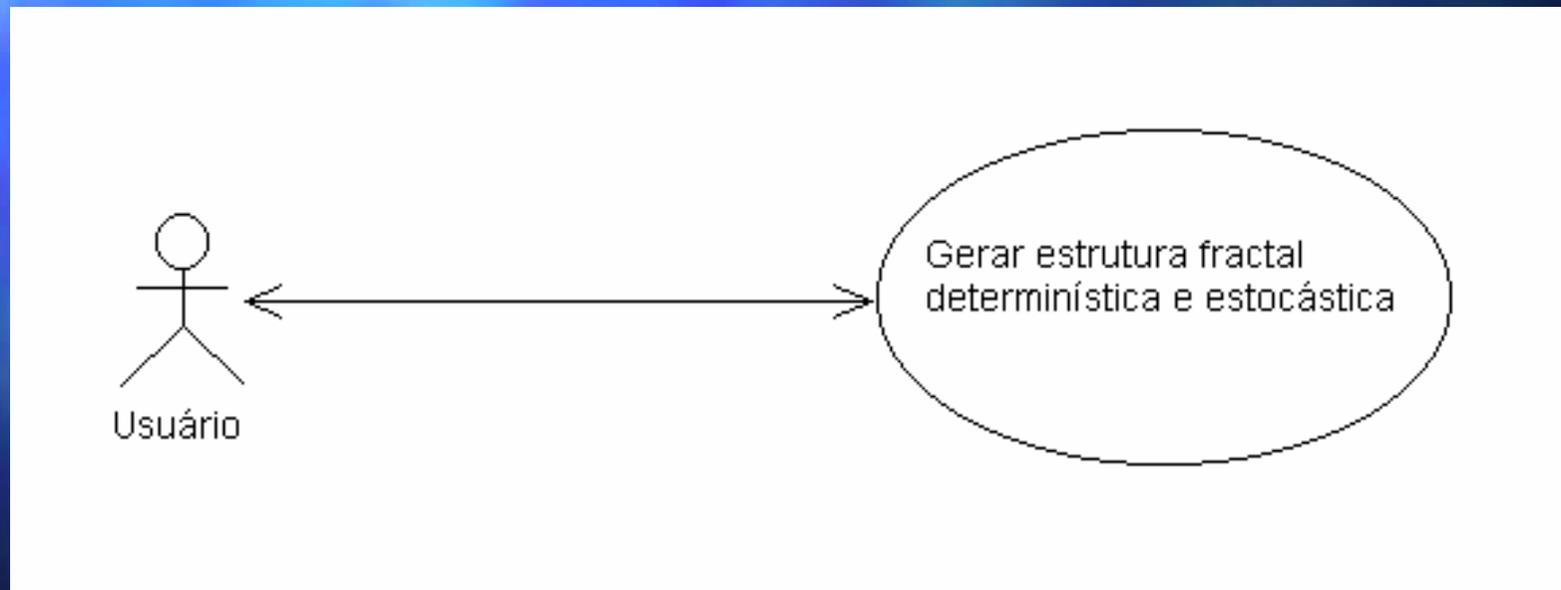
- Equipamento: PC com configuração básica e Sistema Operacional Windows 98.
- Linguagem de Programação: Object Pascal utilizando o ambiente de desenvolvimento Delphi 3.0.
- Ferramenta de Modelagem: Rational Rose 4.0;
- Especificação: UML (Unified Modeling Language - Linguagem de Modelagem Unificada).

# 5.1 Arquitetura

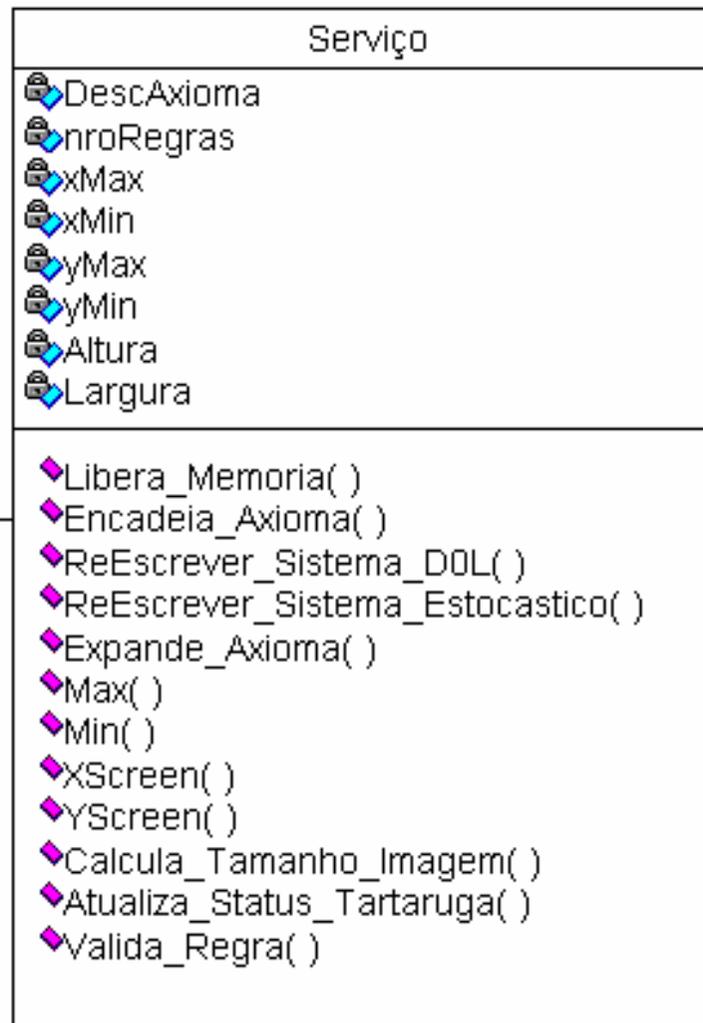
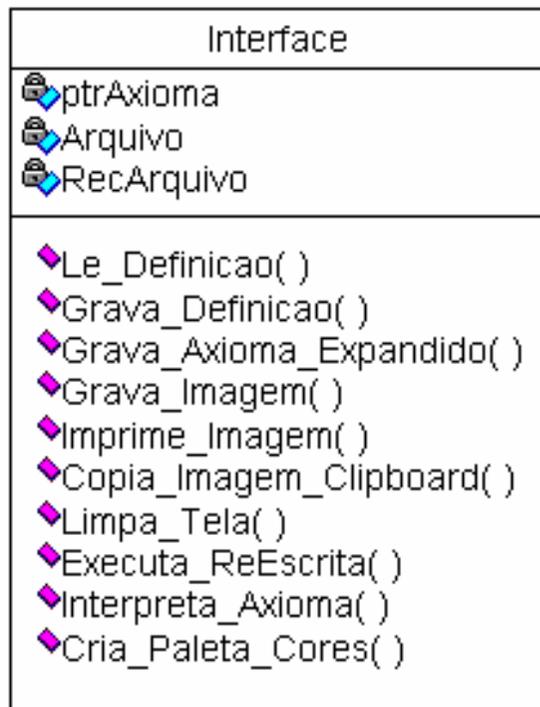


# 5.2 Especificação

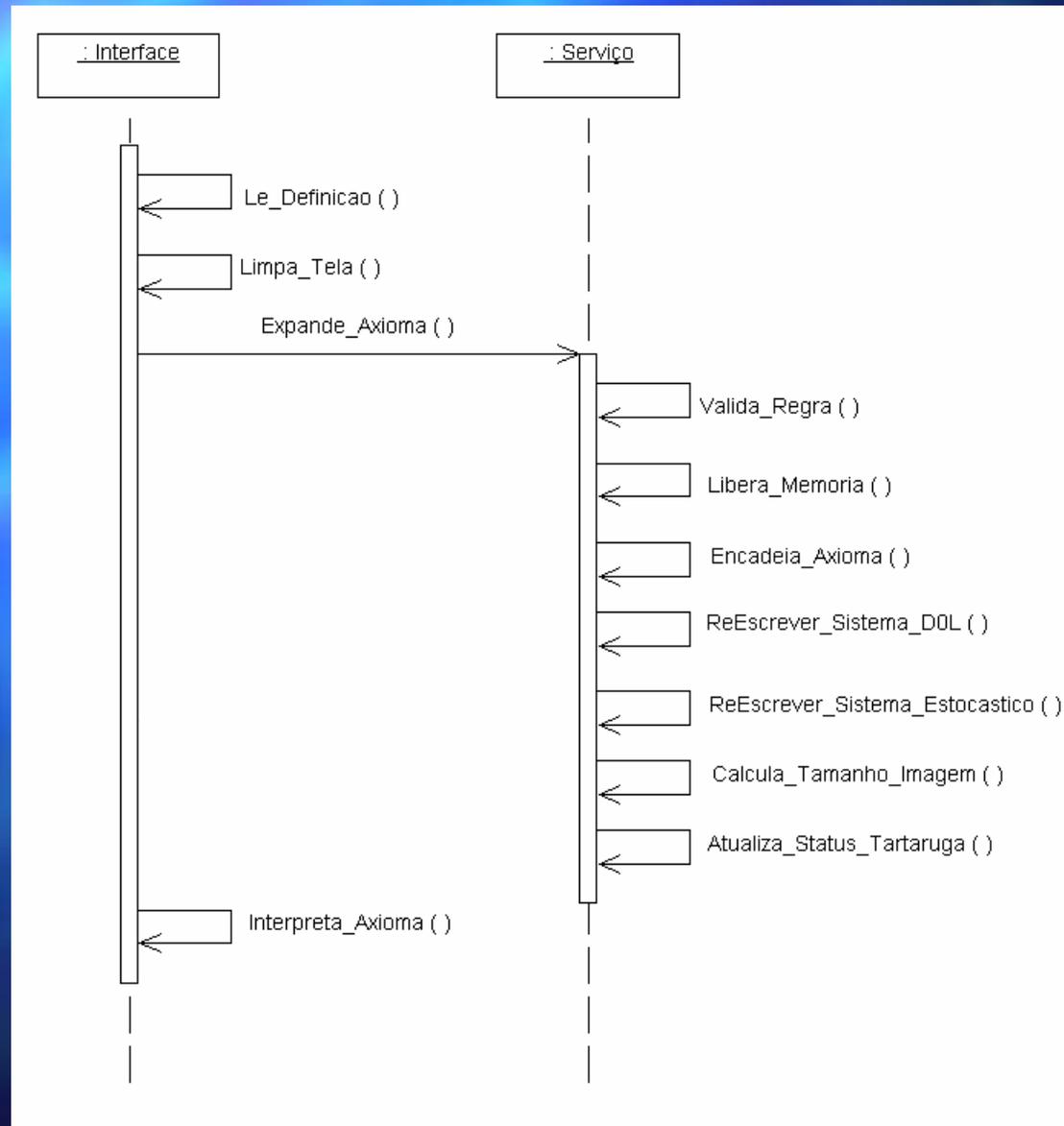
## 5.2.1 Diagrama de Caso de Uso



## 5.2.2 Diagrama de Classe

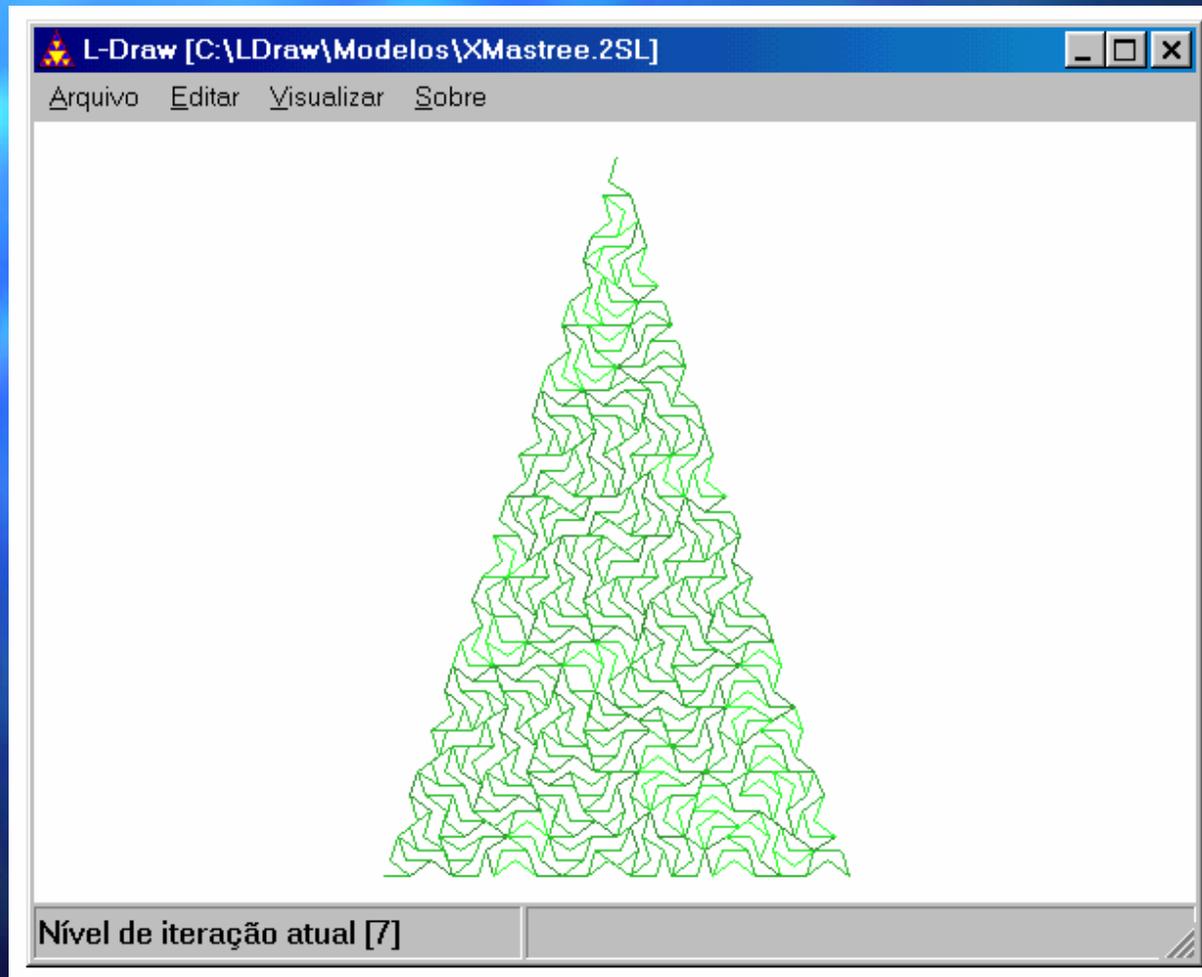


## 5.2.1 Diagrama de Seqüência



# 5.3 Principais telas do L-Draw

## 5.3.1 Tela Principal



## 5.3.2 Tela da Definição Sistema-L

Definição Sistema-L

**Comentários**

Título: Árvore de Natal Fractal  
Arquivo: XMasTree.2SL  
Data: 14/11/1999

**Axioma** **Direções**

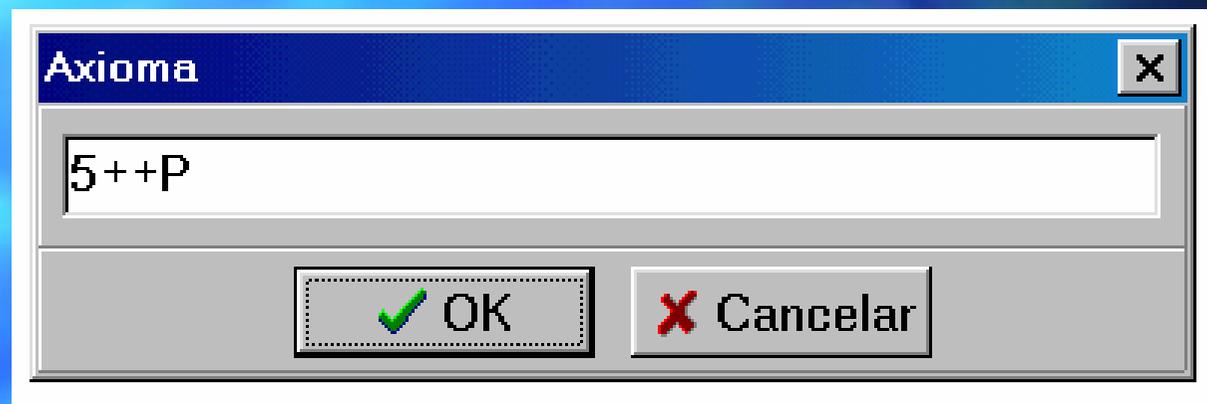
5++P 10

**Regras**

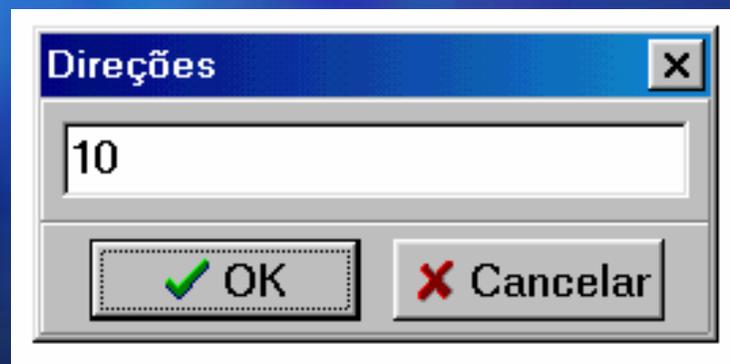
F-->M  
P-->--3FR++++FS--FU  
R-->++4FP----FQ++FT  
S-->5FU--FP++++FQ--  
T-->+1FU--FP+  
U-->-2FQ++FT-  
Q-->3FT++FR----FS++

OK Cancelar

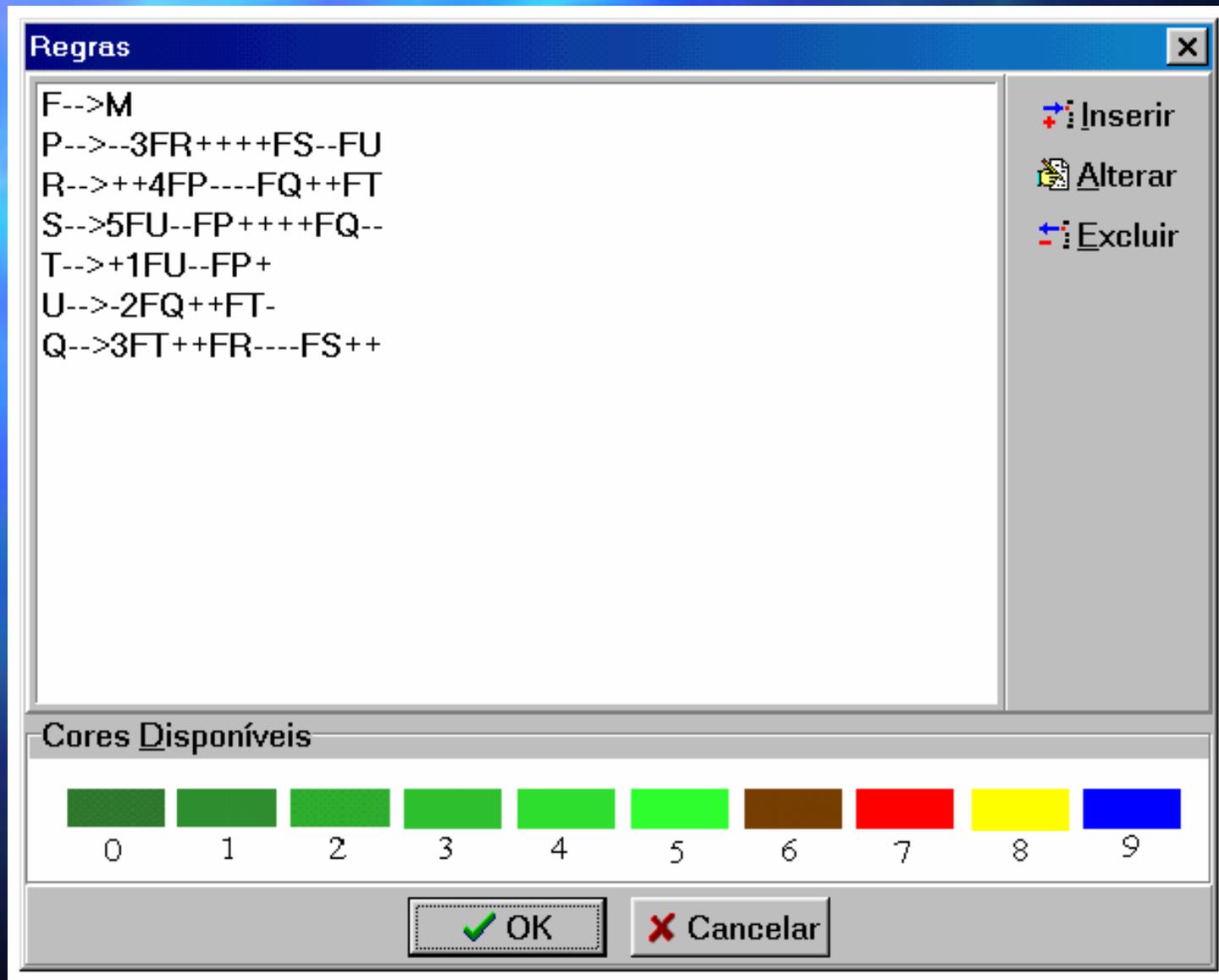
## 5.3.3 Editar Axioma



## 5.3.4 Editar Direções



## 5.3.5 Editar Regras



## 6 Conclusões

- Sistema-L é um processo aberto à várias interpretações.
- Obteve-se bons resultados no processo de reescrita e geração das imagens (alocação dinâmica).
- Poucas modificações nas definições Sistemas-L e resultados imprevisíveis.
- Complexidade da imagem aumenta ou não com o aumento do nível de iteração.

## 8 Conclusões (Continuação)

- Imagens complexas com pouca informação inicial.
- Facilidade de manuseio do protótipo, interação e entendimento do processo.
- Parte computacional é reaproveitável.
- Ainda encontra-se em estado da arte.

# 6 Extensões

- Implementação de ambientes que empreguem outros tipos de Sistema-L.
- Ambiente em 3D com projeções ortogonais e importação para um formato particular de arquivo.
- Ambiente para geração de imagens fractais baseada em plano complexo.
- Melhorar o protótipo, em suas limitações.

## 6 Extensões (Continuação)

- Implementação de um ambiente que com componentes como folhas e flores, utilizando um tipo de Sistema-L apropriado.
- Para a geração de imagens complexas, utilizar a mesma técnica com seguimentação da reescrita e interpretação.

**Fim**

# Objetivo (Proposta)

O objetivo desse trabalho é implementar um protótipo de ferramenta baseada em Sistemas de Lindenmayer ou Sistema-L para modelagem 2D e 3D de estruturas Fractais, assim como, ramificação de plantas e arbustos, estruturas Fractais, texturas e curvas de preenchimento. Possibilidade, se o modelo for criado em 3D, de visualizar a imagem de ângulos diferentes e importação para o formato DXF, deste modo, a imagem pode ser aberta no ambiente AutoCAD e ser renderizada, melhorando a apresentação final.

