



# **Usando conhecimentos das ciências computacionais para resolver problemas reais da agricultura**

Paulo E. Cruvinel  
Embrapa Instrumentação  
[paulo.cruvinel@embrapa.br](mailto:paulo.cruvinel@embrapa.br)

# **Modelagem computacional**

Área de conhecimento multidisciplinar que trata da aplicação de modelos matemáticos e técnicas da computação à análise, compreensão e estudo da fenomenologia de problemas complexos em áreas das engenharias, ciências exatas, biológicas, humanas, econômicas e ciências ambientais.

# Perfil da sociedade

- Qualidade e Ecologia;
- Redes;
- Protocolo de Kyoto e Nagoya;
- Código Florestal;
- Minimização de riscos;
- Segurança Alimentar, do Alimento e Energética;
- Geração de riqueza;
- Sociedade do Conhecimento;
- Inovação.....



# Por que história e epistemologia da ciência?

*As concepções científicas, embora frequentemente resultado da intuição, tendem a ser moldadas, tanto quanto possível, em analogia com as concepções da experiência diária. O conhecimento científico tem uma intrínseca base histórica.*

*A análise histórico-crítica das concepções básicas em ciências é de primordial importância, não apenas para o profissional ou para o historiador ou filósofo das ciências, mas principalmente para a sociedade que utiliza seus resultados.*

# Necessidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação...



**COMPETITIVIDADE E SUSTENTABILIDADE**



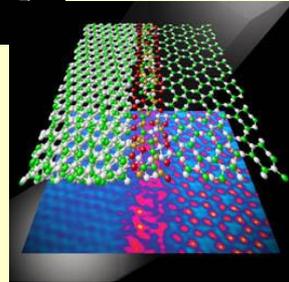
**CAPACIDADE PRODUTIVA DOS PEQUENOS EMPREENDIMENTOS**



**SEGURANÇA ALIMENTAR, NUTRIÇÃO E SAÚDE**

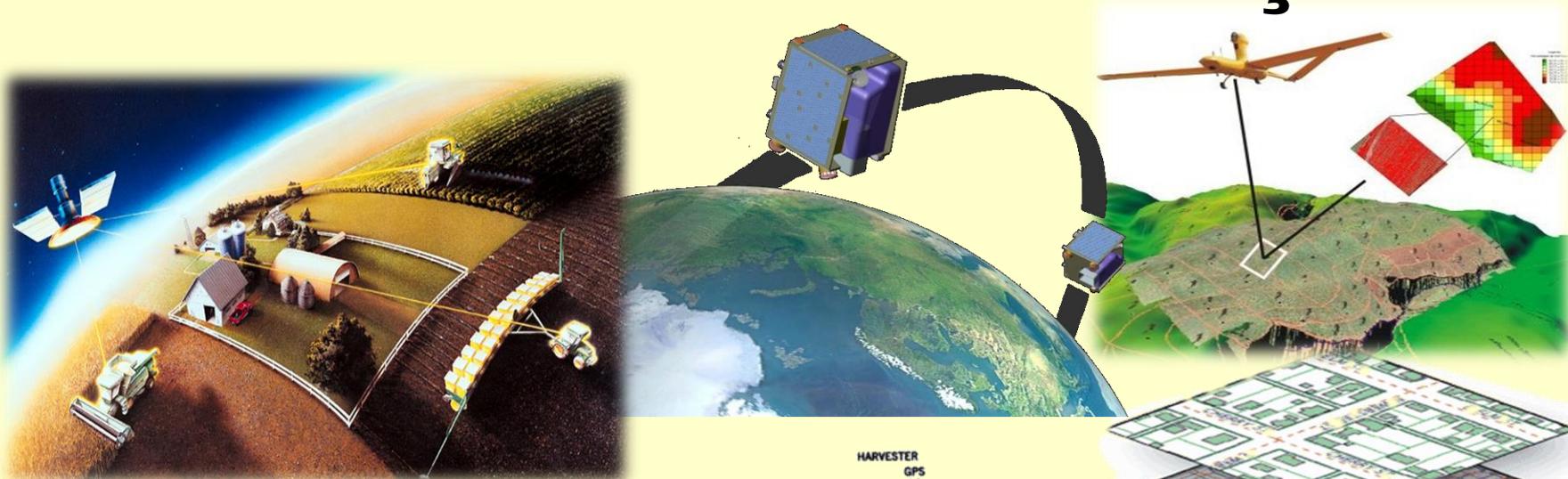


**USO SUSTENTÁVEL DOS BIOMAS**

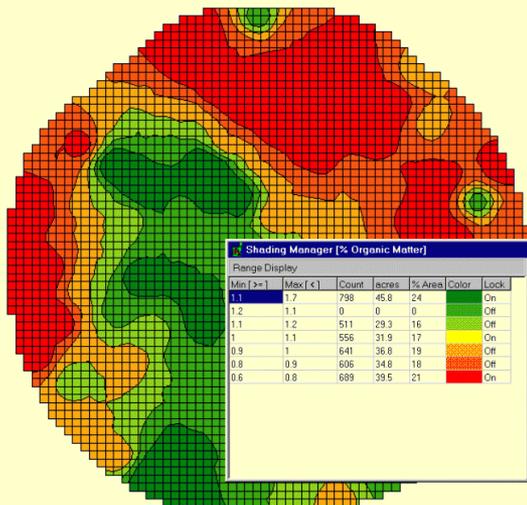


**AVANÇO DA FRONTEIRA DO CONHECIMENTO**

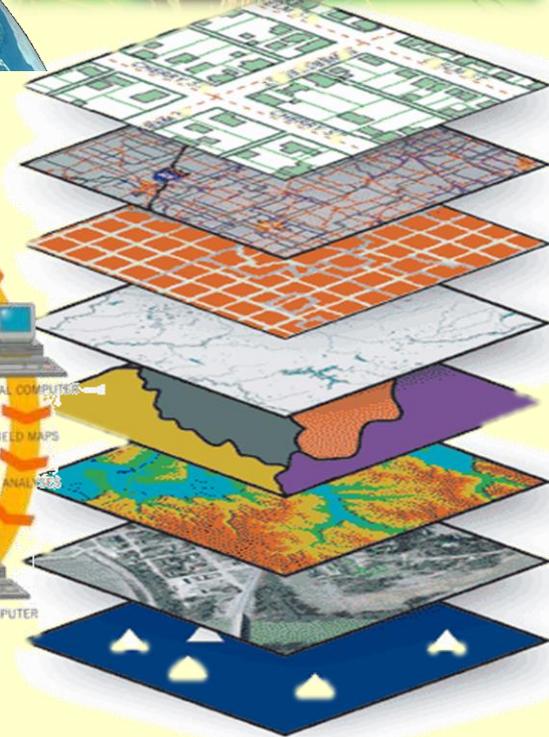
# Agricultura baseada em conhecimento e informação



% Organic Matter



Shading Manager [% Organic Matter]						
Range Display						
Min (>=)	Max (<)	Count	Acres	% Area	Color	Lock
1.1	1.7	798	45.8	24	On	
1.2	1.1	0	0	0	Off	
1.1	1.2	511	29.3	16	Off	
1	1.1	556	31.9	17	Off	
0.9	1	641	36.8	19	Off	
0.8	0.9	605	34.8	18	Off	
0.6	0.8	689	39.5	21	On	



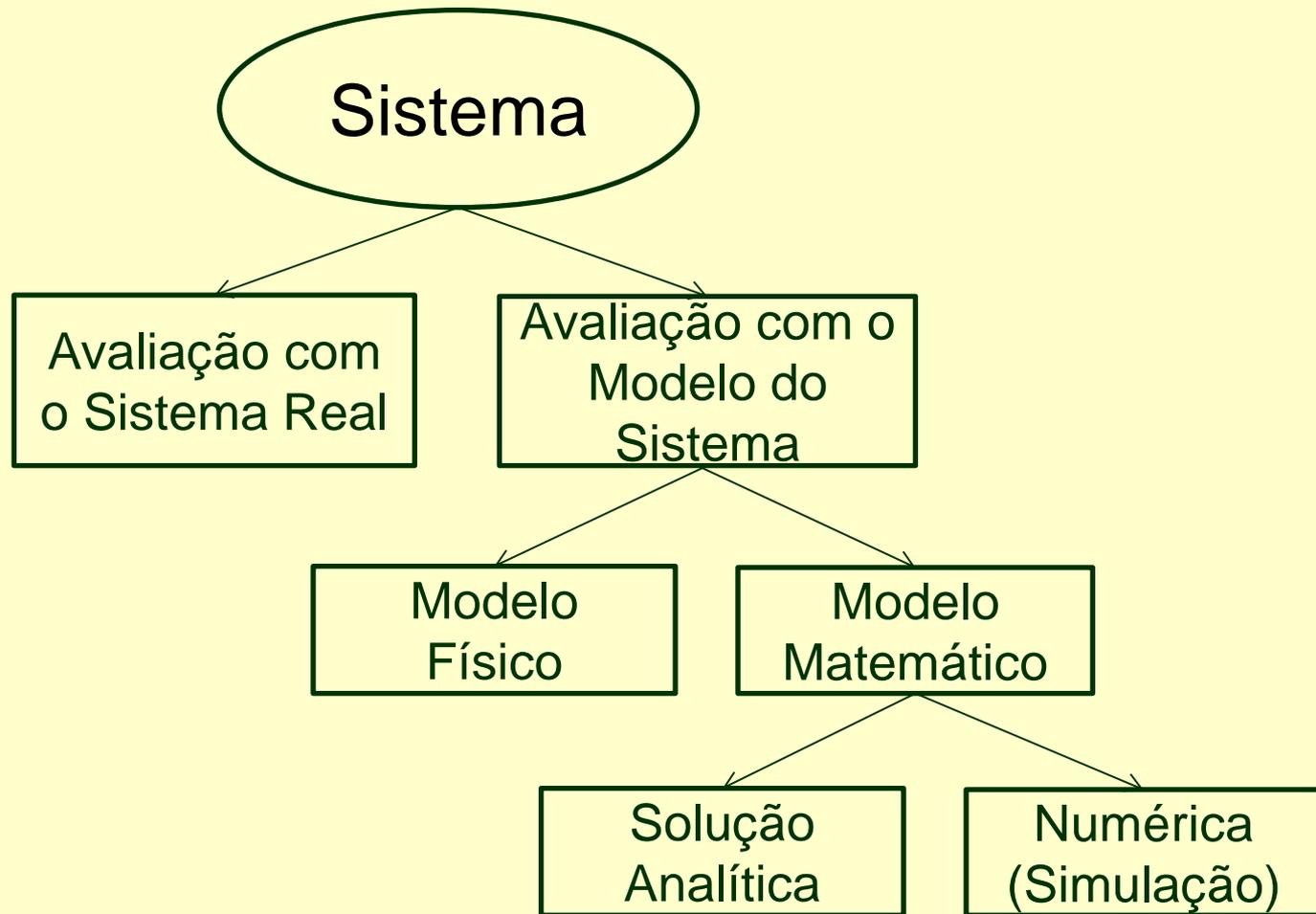
# Modelagem e Simulação

Emprego de ferramentas na análise de sistemas complexos e que envolve:

- Criação de uma representação (modelo) do sistema em estudo;
- Experimentação com o modelo do sistema guiado por um conjunto de objetivos, tais como: melhorias de projeto, análise custo-benefício, análise de sensibilidade dos parâmetros, etc.

*A experimentação produz um histórico do comportamento do sistema ao longo do tempo, assim como estatísticas deste comportamento.*

# Formas de Estudo de Sistemas



# Modelo

É a representação de um sistema real, sob um determinado conjunto de condições operacionais e hipóteses simplificadoras que retratam a estrutura e o comportamento do sistema correspondente (LAW, 2007).

# Modelos Analíticos x Modelos de Simulação

natureza de suas soluções:

**Analítico**: obtenção da solução para um problema matemático por meio de algoritmos. As soluções encontradas são usadas como medidas de desempenho do sistema.

**Simulação**: a solução é obtida por meio da execução de um programa (modelo) que produz amostras do comportamento do sistema. As estatísticas obtidas destas amostras são usadas como medidas do desempenho do sistema.

# SIMULAÇÃO

## Vantagens

- ✓ Estudos de sistemas reais sem modificá-los;
- ✓ Possibilita melhor compreensão de quais variáveis são mais importantes em relação a performance e como estas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
- ✓ Facilita a identificação de “gargalos”;
- ✓ Permite análise do tipo “o que aconteceria se...”;
- ✓ Permite replicações precisas;
- ✓ Análise de condições extremas com segurança;

# SIMULAÇÃO

## Desvantagens

- ✓ Construção do modelo: treinamento e experiência
- ✓ Resultados: podem ser de difícil e complexa interpretação
- ✓ Resultado ótimo: podem ser necessárias inúmeras replicações e testes
- ✓ Modelagem consome tempo, especialmente para sistemas muito complexos

# Simulação de eventos discretos

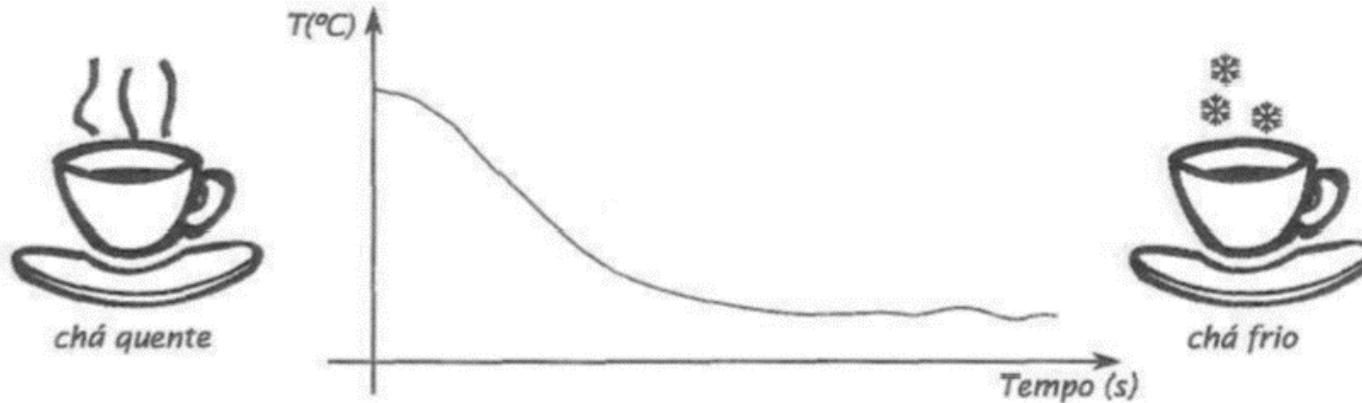
Modelos de simulação computacional:  
executam, sequencialmente ou em paralelo,  
um conjunto de instruções.

*Na medida em que as instruções são executadas, os valores que determinadas variáveis podem assumir são alterados, uma vez que se modificam as condições que influenciam o comportamento do modelo.*

## Simulação de Eventos Discretos



## Simulação Contínua



Sistema do Mundo Real

ENTRADAS  
(DADOS)

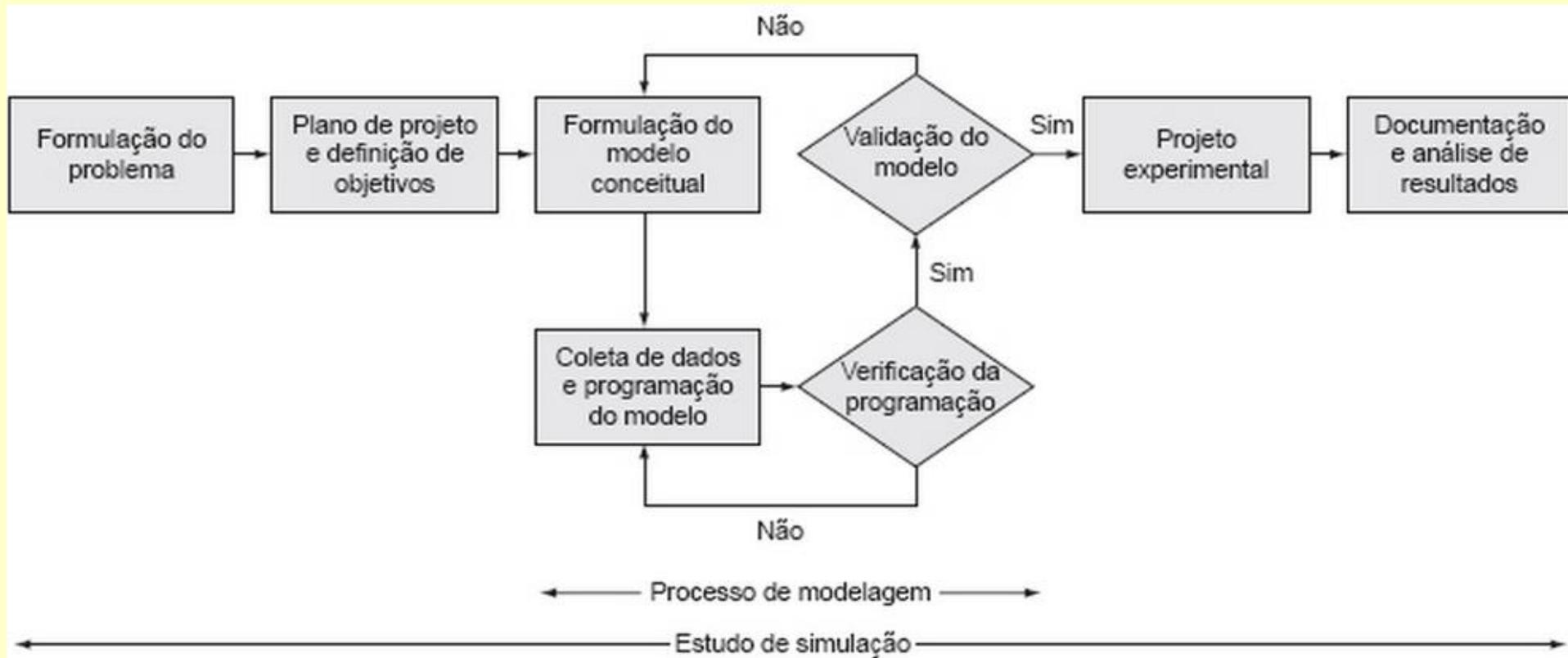
*input*

MODELO DE  
SIMULAÇÃO

SAÍDAS  
(RESPOSTAS)

*output*

EXPERIMENTAÇÃO



Processo de modelagem num estudo de simulação. Adaptada de Shannon (1975), Winston (1993) e Banks et al. (1996).

# Organização dos eventos

## PLANEJAMENTO

- Formulação e análise do problema (objetivos)
- Planejamento do projeto (recursos necessários)
- Formulação do modelo conceitual (esboço do sistema)
- Coleta de macro-informações (ex: qual fonte de dado?)

## MODELAGEM

- Coleta de dados
- Tradução do modelo (linguagem de simulação)
- Verificação e Validação (modelo ok?)

## EXPERIMENTOS

- Projeto experimental (criar cenários)
- Experimentação (executar simulação: cenários)
- Análise dos resultados (estatística, análise desempenho)

## CONCLUSÃO

- Comparação e identificação das melhores soluções
- Documentação e apresentação dos resultados
- Implementação

# **Primeiro exemplo: modelo de gestão de risco para combate à Sigatoka-negra**

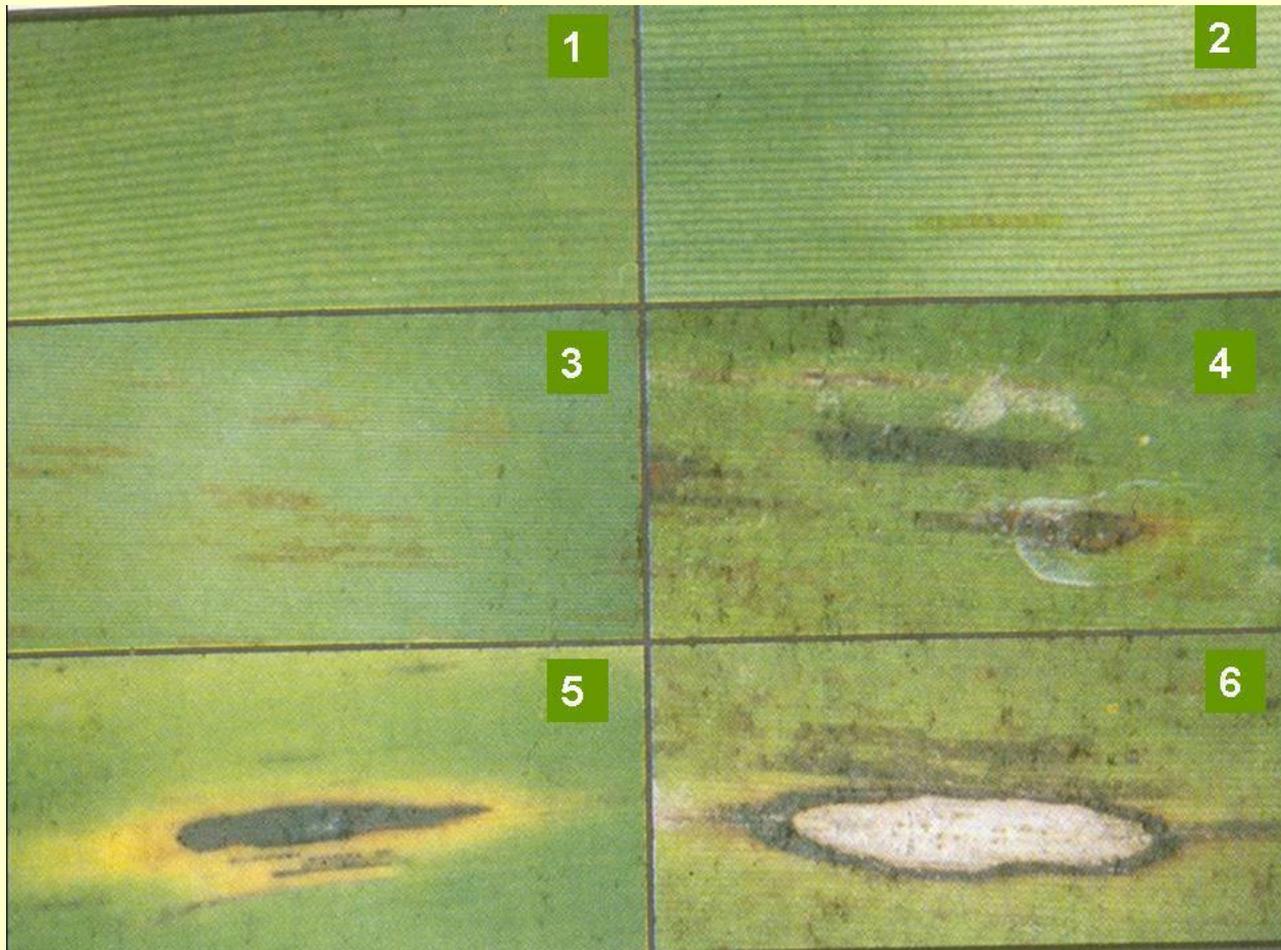
- 2ª fruta mais produzida no mundo, cultivada em mais de 124 países (FAO, 2008).
- Brasil: 3º maior produtor de banana (Índia e China)
- Estado da Bahia é o principal produtor, seguido pelo Estado de São Paulo.
- Vale do Ribeira: 14% da produção brasileira (IEA), com 4 mil produtores, em 42 mil ha. Sendo que representa 1,7% do PIB estadual e 80% da receita econômica da região.



# Sigatoka-negra

- Originária das Ilhas Fiji, no Vale da Sigatoka;
- Primeiro registro no Brasil, no Amazonas (1998). Em SP (2004), no Vale do Ribeira;
- Causa: fungo *Mycosphaerella fijiensis*;
- Sintomas: estrias marrons e manchas negras, ocasionando redução da fotossíntese;
- É a mais severa doença da banana, tendo inclusive substituído a Sigatoka Amarela. Causa perdas superiores a 50% na produção;
- Na América Central chegou-se a 48 a 50 aplicações de fungicidas por ano.

# Sintomas



Estádios dos sintomas da Sigatoka-negra: 1. Ponto; 2. Traço; 3. Estria; 4. Mancha negra; 5. Mancha negra com halo amarelo; e 6. Mancha necrótica. (Fonte: Orozco-Santos, 1998).



# Desenvolvimento do patógeno

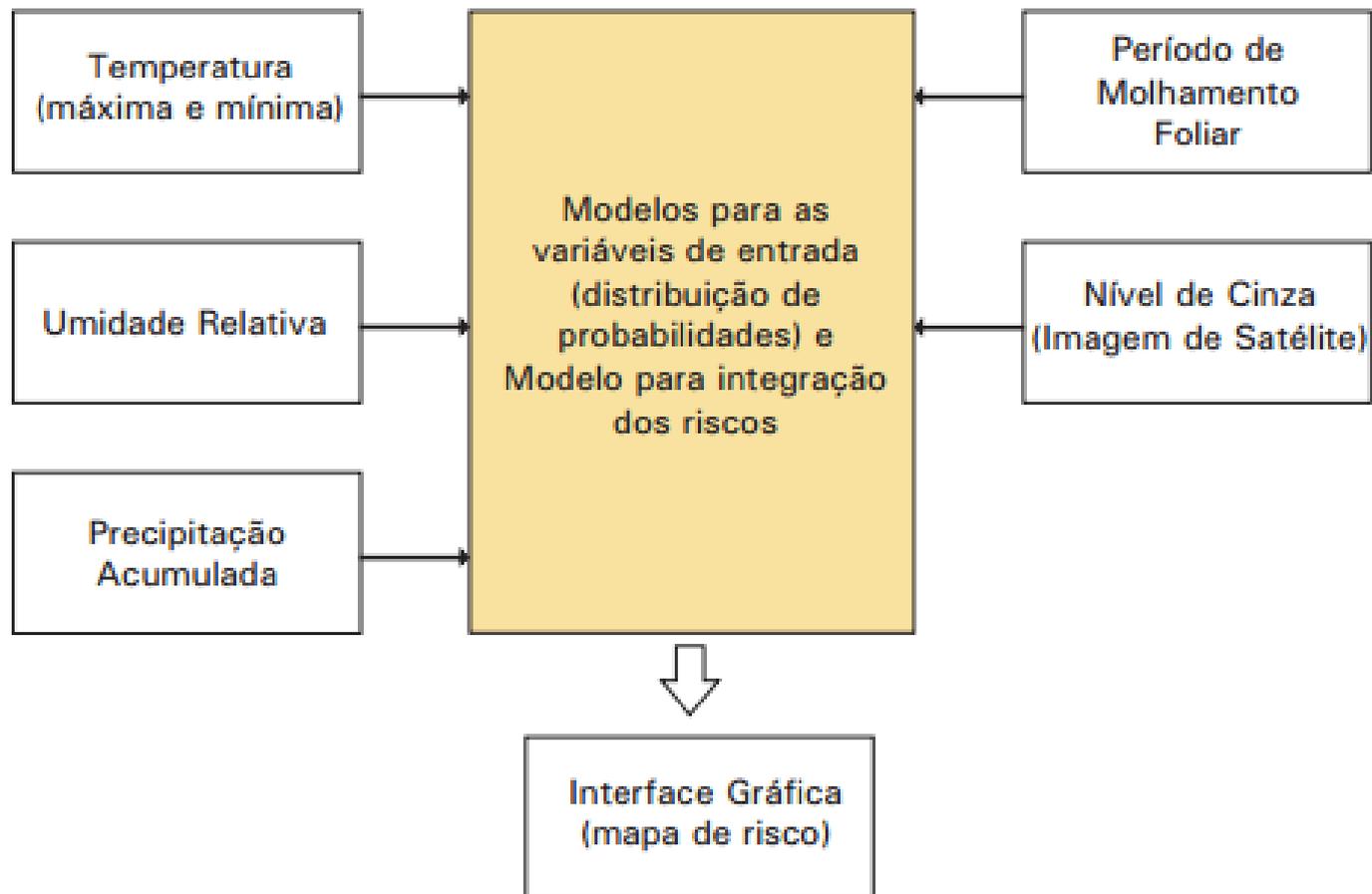


# Desenvolvimento do patógeno



# Objetivo do Trabalho

Desenvolver um modelo computacional para avaliação do risco de aparecimento da Sigatoka-negra em função da vulnerabilidade decorrente da composição desfavorável de uma série de fatores do sistema ambiente versus planta versus patógeno;



Concepção estrutural para a organização de modelos que auxiliem a análise de risco da doença Sigatoka-negra em bananais, considerando escala de propriedade.

# Seleção das variáveis

- **Estado de Evolução (EE)**

É o valor que permite quantificar o estado evolutivo da Sigatoka-negra, baseado no ritmo de emissão foliar e na soma bruta.

- **Temperatura (T)**

A temperatura está relacionada com o crescimento e desenvolvimento da planta (hospedeiro) e do patógeno (agente causal da doença) (LOZADA GARCIA, 2005).

A Sigatoka Negra é mais severa no período com temperaturas mais elevadas ( $>25^{\circ}\text{C}$ ) e menos severa no período com temperaturas inferiores ( $<18^{\circ}\text{C}$ ) (MORAES, 2007).

# Seleção das variáveis

- **Precipitação Acumulada (Pp)**

Trata-se da precipitação equivalente a espessura da lâmina d'água que se forma pela chuva sobre uma superfície plana e impermeável, durante um determinado período de tempo. É dada em milímetros (mm).

Na região do Vale do Ribeira, em São Paulo, a doença tem seu desenvolvimento comprometido com precipitação acumulada na semana, inferior a 100 milímetros (MORAES, 2007).

- **Umidade Relativa (UR)**

É a relação entre a umidade contida em uma massa de ar com a máxima umidade que poderia ser admitida, sem produzir condensação. Os patógenos respondem de modo diferente à umidade, mas, de uma maneira geral, os fungos necessitam de muita umidade para o seu crescimento.

A umidade média de 84,4%, favorece o desenvolvimento da Sigatoka-negra. (GASPAROTTO E CORDEIRO, 2000).

# Seleção das variáveis

- **Duração do período de molhamento (DPM)**

Molhamento foliar é um termo geral utilizado para designar a presença de água na forma líquida sobre a parte aérea dos vegetais.

A permanência de água sobre as superfícies vegetais desempenha papel fundamental em alguns processos epidemiológicos tais como a infecção e esporulação (HUBER; GILLESPIE, 1992).

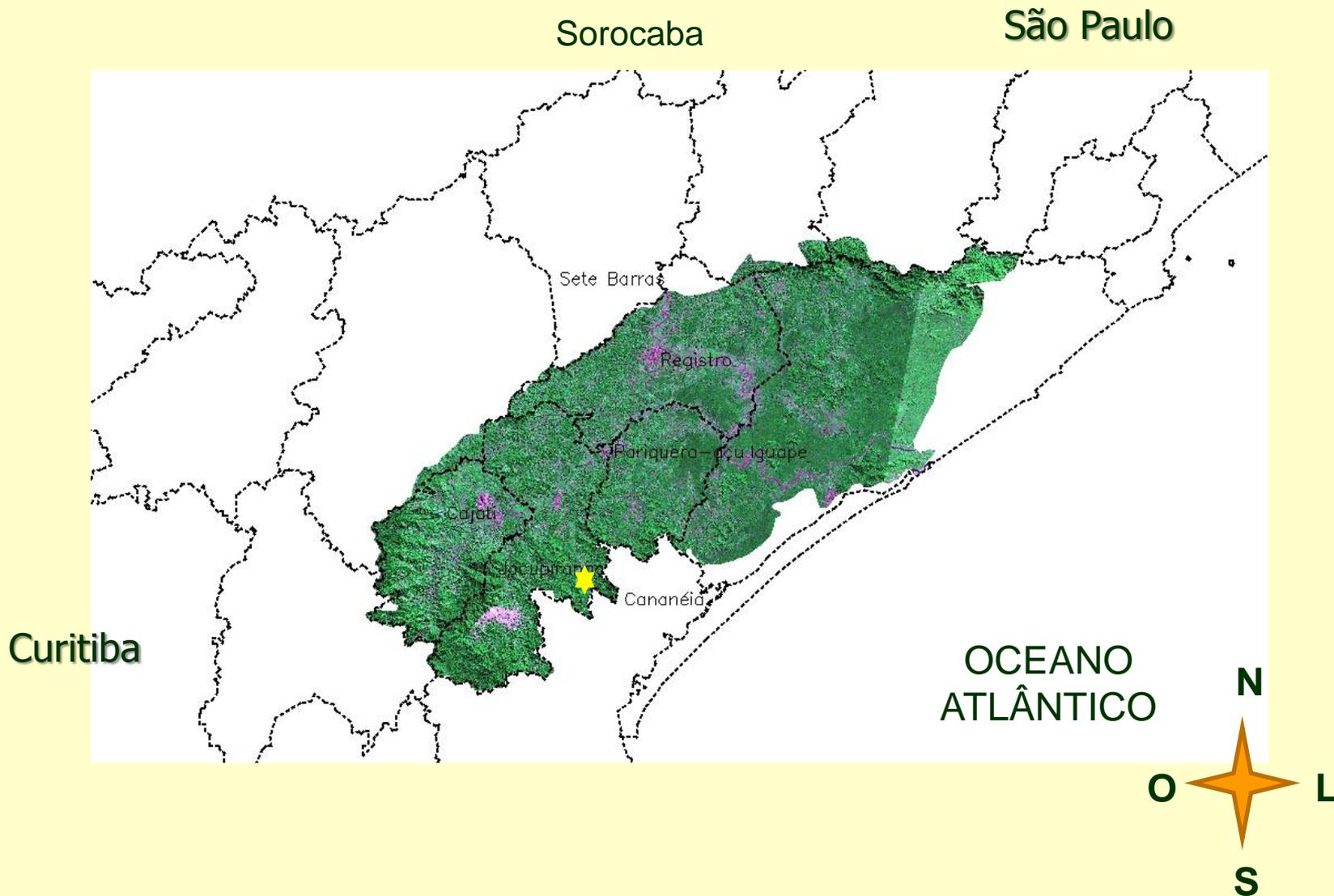
Em relação ao desenvolvimento da Sigatoka-negra (CRONSHAW, 1982), DPM:

- > 60 h - favorável;
- 40 a 50 h - moderadamente favorável;
- 10 a 40 h - ligeiramente favorável;
- <10 h - não favorável.

# Seleção das variáveis

- Estado de Evolução (EE)
- Temperatura máxima (Tmax)
- Temperatura mínima (Tmin)
- Precipitação Acumulada (Pp)
- Umidade relativa (UR)
- Duração do Período de Molhamento (DPM)

# Caracterização da área de estudo: Microbacia do Rio Ribeira do Iguape



**Localidade:** Bairro do Guaraú, Jacupiranga-SP

**Coordenadas UTM:**

E1 791903.9m, 7244702.4m

E2 792842.9m, 7245578.9m

**Área plantada:** 12 hectares

**Cultivar:** Grand Naine  
(Nanicão)

**Espaçamento:** 2,5m x 2,5m

**5º ciclo**



# Aquisição de dados

- Tmax, Tmin, Pp: CIIAGRO, Jacupiranga-SP
- Frequência diária (correção por interpolação linear)
- UR: INMET, município de Iguape-SP
- Frequência horária (correção por interpolação linear)
- DPM: metodologia de Gasparotto (1988).

$$DPM = \sum_{k=0}^{n=7} (hm)$$

Onde:

hm ... Horas do dia com UR superior a 90%

# Aquisição de dados

- Características das imagens:
- Imagens do sensor TM LANDSAT-5
- Catálogo de imagens de satélite do INPE, disponível em: <http://www.dgi.inpe.br>
- Banda 2 (0,725 $\mu$ m a 1,1 $\mu$ m)
- Órbita-ponto 220/77
- Resolução espacial de 30 metros
- Fev/05 – Jul/08, com frequência trimestral, totalizando 10 imagens
  
- Processamento utilizando o software SPRING
- Ampliação de contraste
- Registro de imagens: tela a tela
- Recorte da área de interesse
- Leitura dos pixels

# Modelagem

- O intervalo das classes foi definido por:

$$\text{intervalo} = \frac{\text{valormáximo} - \text{valormínimo}}{\text{númerodeclasses}(10)}$$

- A probabilidade de ocorrência de cada classe na série de dados, para cada variável:

$$P(x) = \frac{\text{frequência}(x)}{\text{totaldeobservações}}$$

- O modelo do risco total de ocorrência da doença é dado por:

$$P(\text{total}) = P(t \text{ max}) \cap P(t \text{ min}) \cap P(Pp) \cap P(Ur) \cap P(DPM) \cap P(NC)$$

# Modelagem

- As probabilidades normalizadas foram “plotadas” nos eixos de uma circunferência de raio unitário (Cruvinel et al. (2006))
- A área total da figura pode ser determinada pela seguinte fórmula:

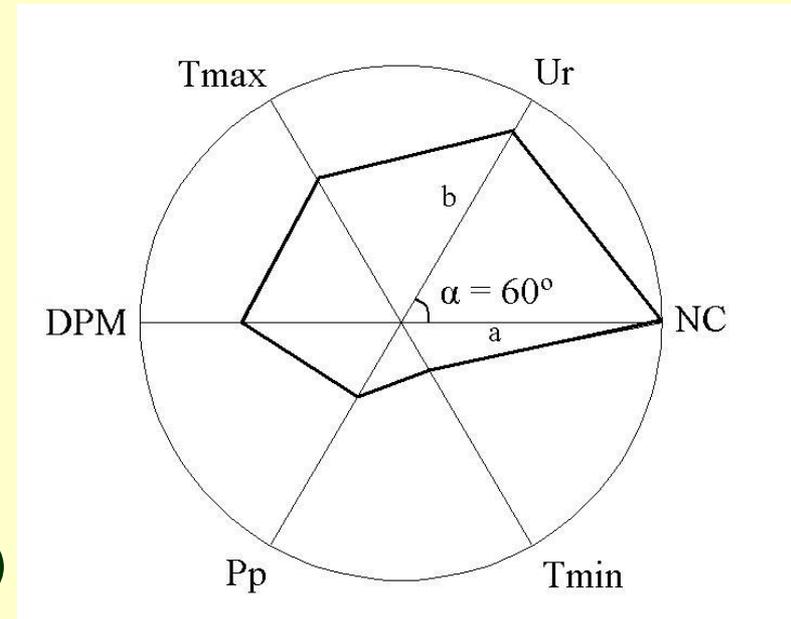
$$At = \sum_{i=1}^6 \frac{ai \cdot bi \cdot \text{sen}\alpha i}{2}$$

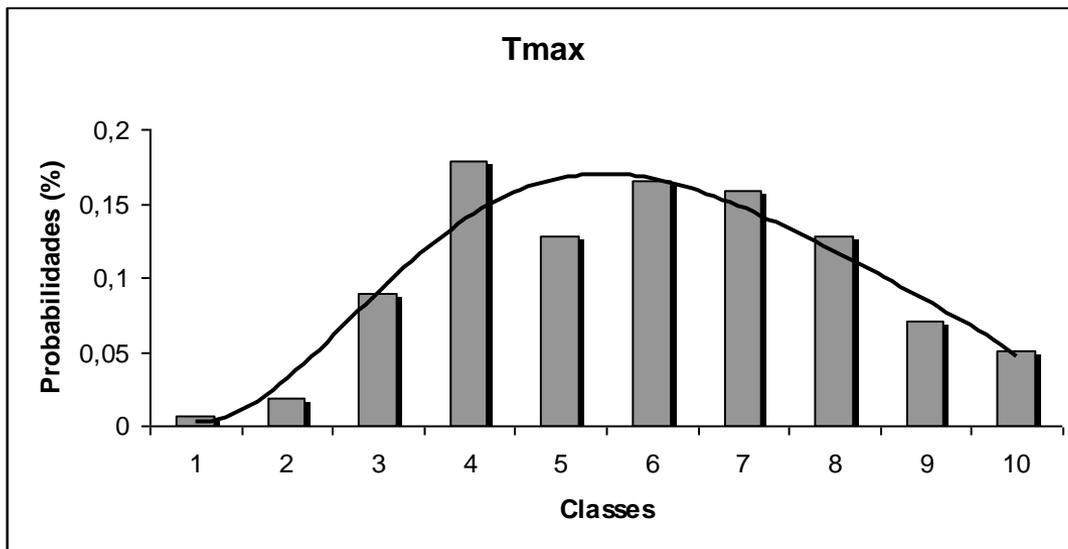
onde:

At ... área total da figura

a e b ... Probabilidades normalizadas

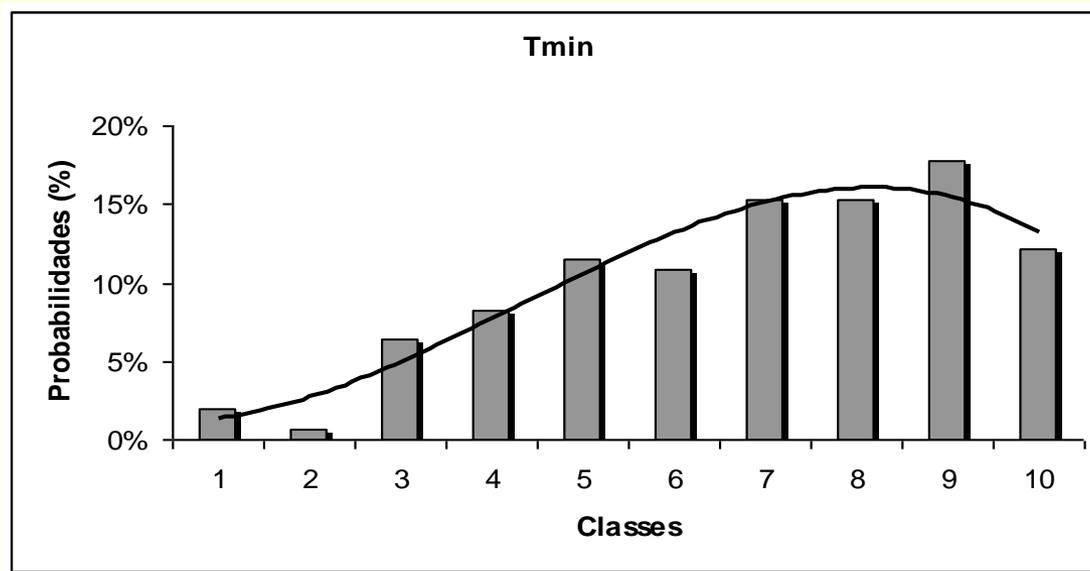
$\alpha$  ... ângulo formado entre os vetores ( $60^\circ$ )





Classes	Intervalo (°C)	Risco
1	20,81	baixo
2	22,50	médio
3	24,19	médio
4	25,88	alto
5	27,58	alto
6	29,27	alto
7	30,96	alto
8	32,65	médio
9	34,34	médio
10	36,03	baixo

$f(x) = -5E^{-05}x^5 + 0,0016x^4 - 0,0192x^3 + 0,094x^2 - 0,1415x + 0,0675$   
 Erro padrão = 0,07297  
 $R^2 = 0,8937$

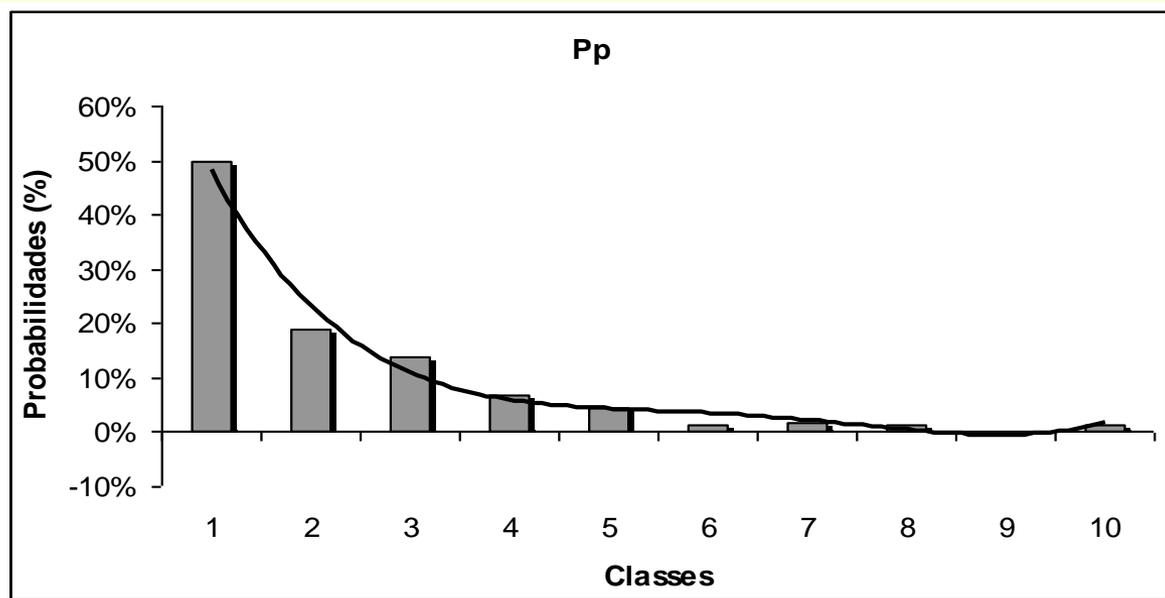


Classes	Intervalo (°C)	Risco
1	9,08	baixo
2	10,6	baixo
3	12,12	baixo
4	13,64	baixo
5	15,16	médio
6	16,68	médio
7	18,2	médio
8	19,72	alto
9	21,24	alto
10	22,76	alto

$$f(x) = -0,0006x^3 + 0,0084x^2 - 0,0074x + 0,013$$

*Erro padrão = 0,0221*

*R<sup>2</sup> = 0,9307*

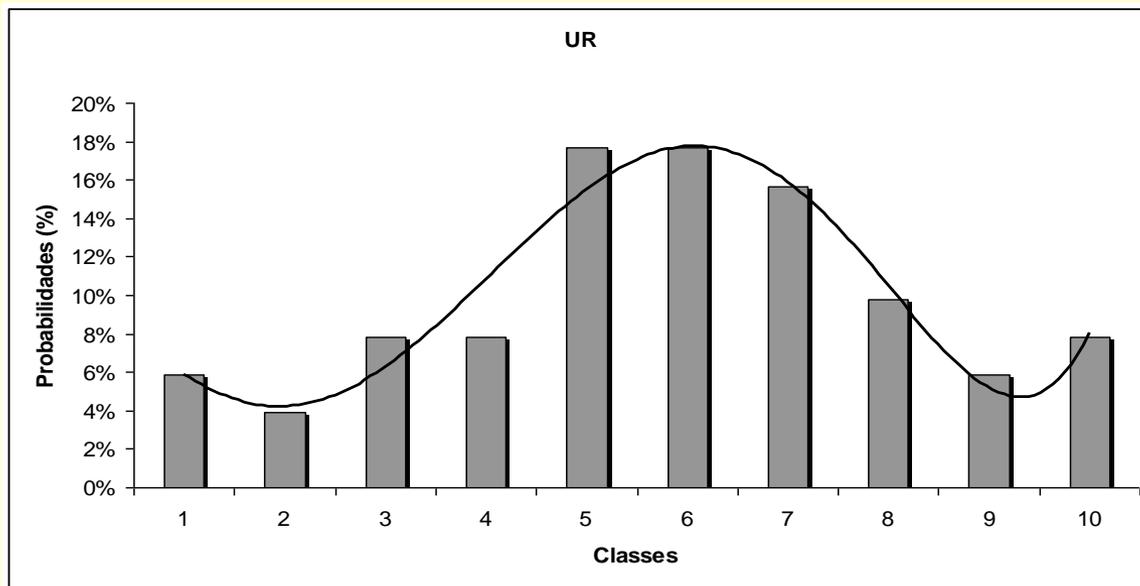


Classes	Intervalo (mm)	Risco
1	20,09	baixo
2	40,19	baixo
3	60,29	médio
4	80,39	médio
5	100,49	médio
6	120,59	alto
7	140,69	alto
8	160,79	alto
9	180,89	alto
10	200,99	médio

$$f(x) = 0,0005x^4 - 0,0139x^3 + 0,1326x^2 - 0,557x + 0,9204$$

*Erro padrão = 0,1011*

*R<sup>2</sup> = 0,9825*



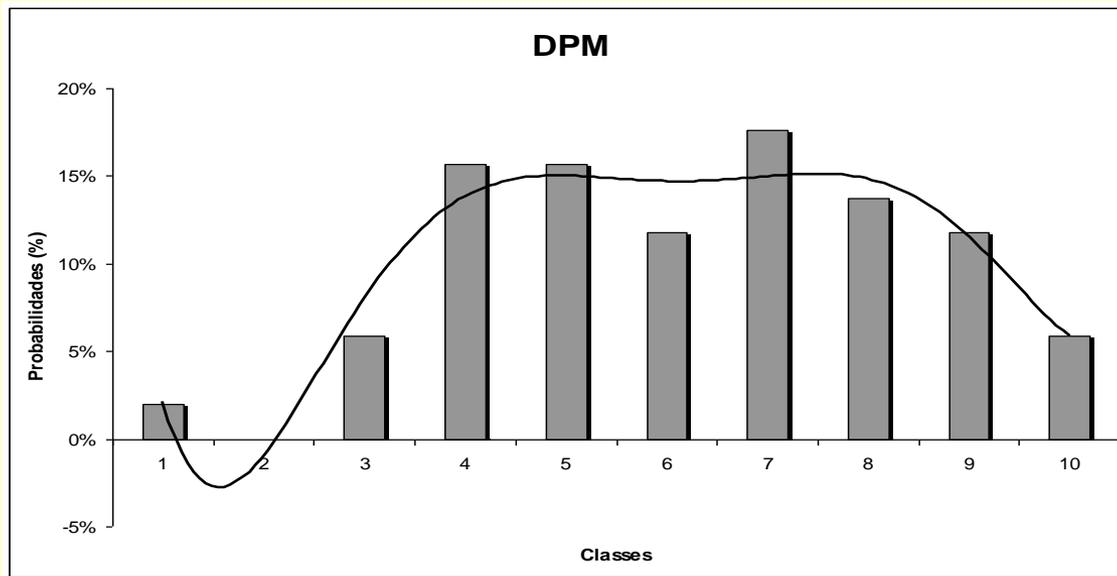
Classes	Intervalo (%)	Risco
1	80,52	baixo
2	81,79	médio
3	83,05	médio
4	84,32	médio
5	85,58	alto
6	86,84	alto
7	88,11	alto
8	89,37	alto
9	90,64	alto
10	91,9	alto

$$f(x) = 9E^{-05}x^5 - 0,0019x^4 + 0,0112x^3 - 0,0091x^2 - 0,042x + 0,1007$$

Erro padrão = 0,4077

$R^2 = 0,9269$

# Duração do Período de Molhamento



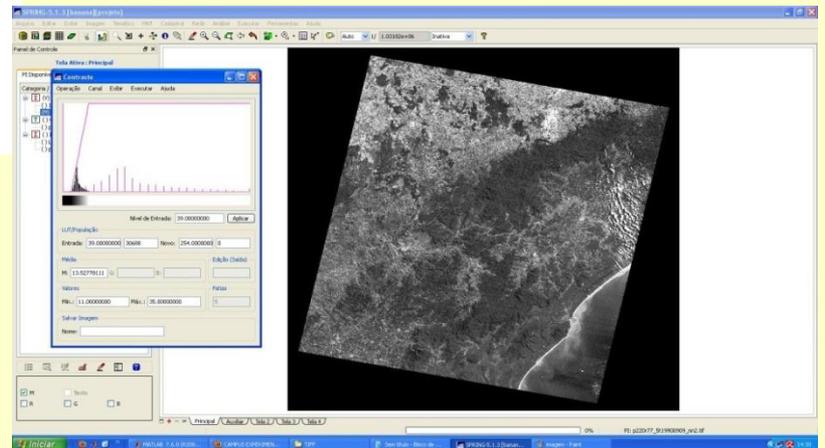
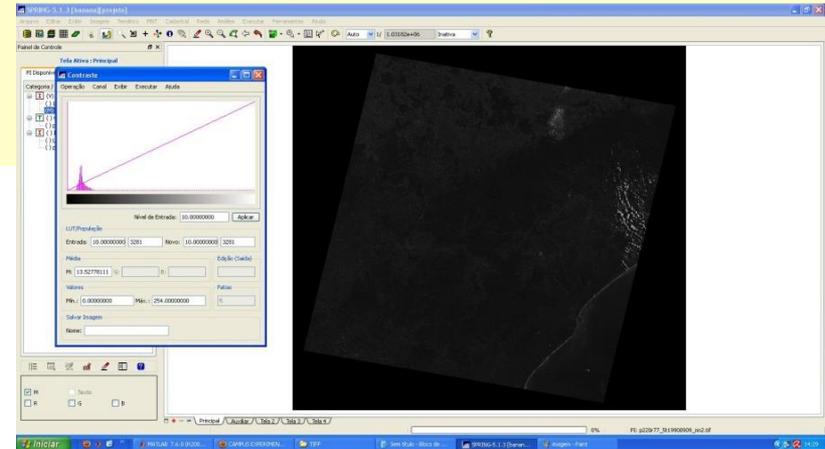
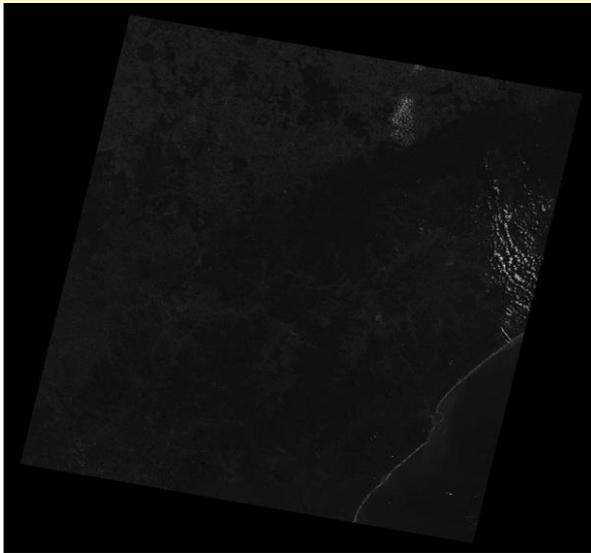
Classes	Intervalo (%)	Risco
1	33,4	baixo
2	43,8	baixo
3	54,2	médio
4	64,6	médio
5	75	médio
6	85,4	alto
7	95,8	alto
8	106,2	alto
9	116,6	alto
10	127	alto

$$f(x) = 5E^{-05}x^6 - 0,0018x^5 + 0,0257x^4 - 0,1833x^3 + 0,6633x^2 - 1,071x + 0,5882$$

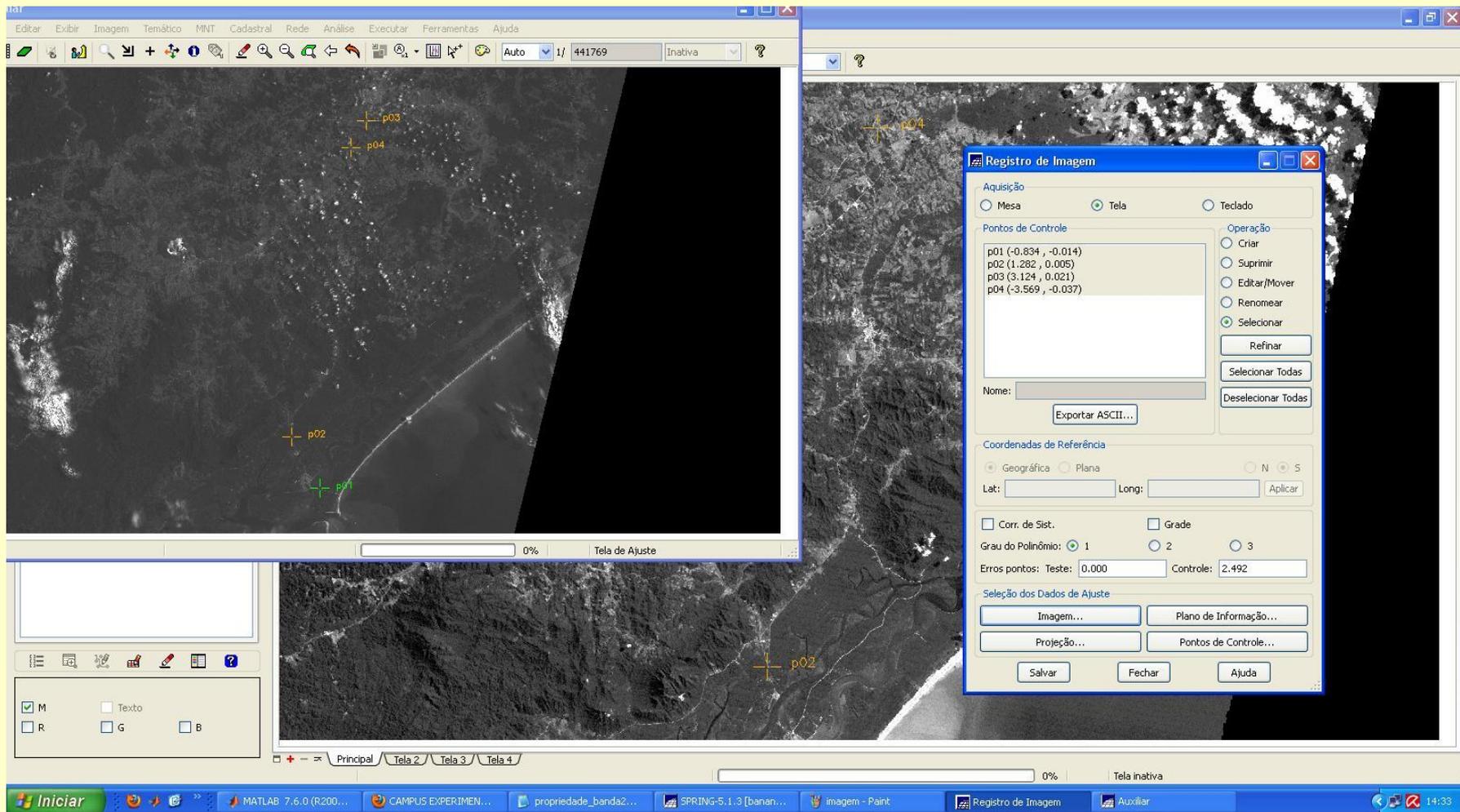
$$\text{Erro padrão} = 0,0667$$

$$R^2 = 0,9230$$

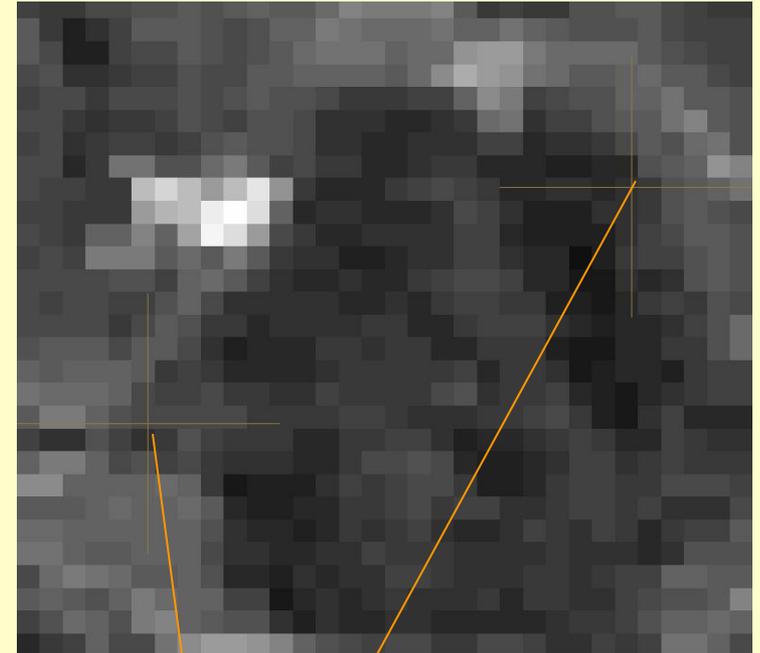
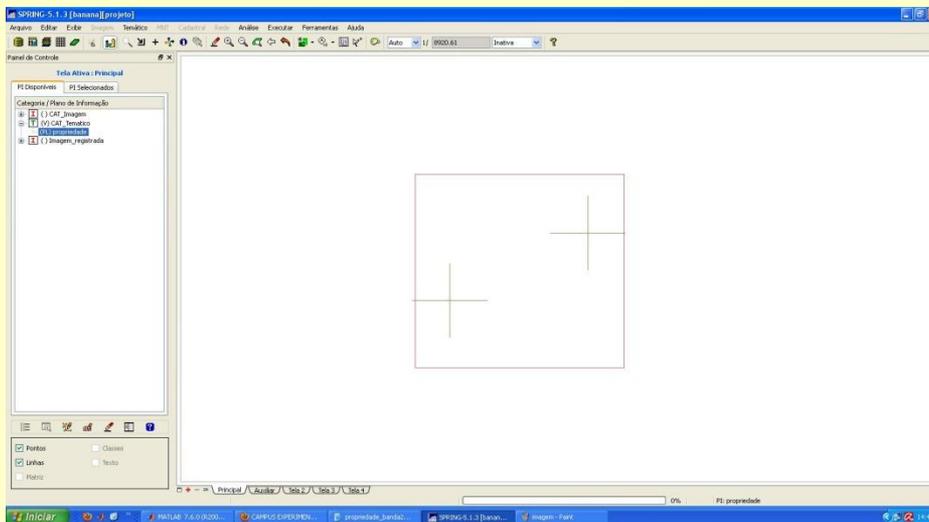
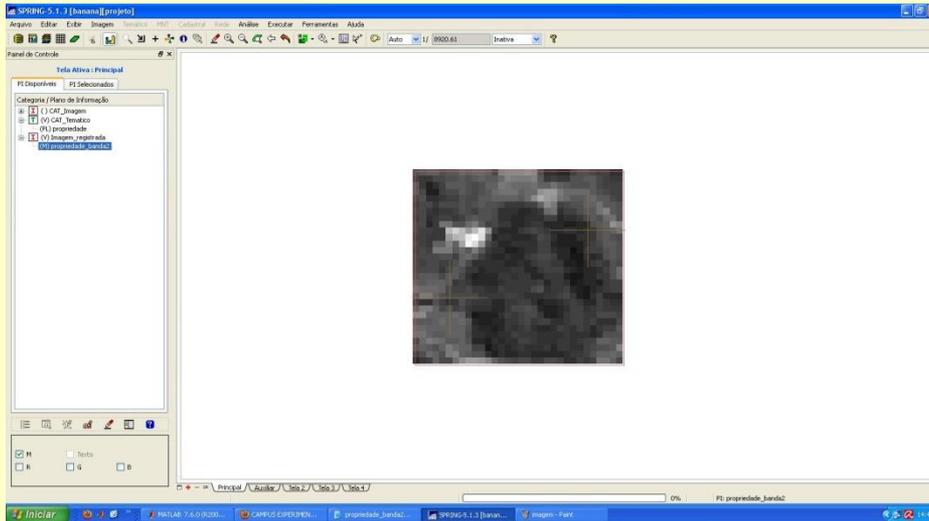
# Ampliação de Contraste



# Registro de imagens: tela a tela



# Recorte da área de interesse



Pontos de  
monitoramento  
da doença

# Leitura de pixels

The screenshot displays the SPRING 5.1.3 software interface. The main window is titled "SPRING-5.1.3 [banana][projeto]". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Exibir", "Imagem", "Temático", "MNT", "Cadastral", "Rede", "Análise", "Executar", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains various icons for file operations and image processing. The "Painel de Controle" (Control Panel) is visible on the left, showing a tree view of the project structure under "Tela Ativa: Principal". The tree view includes "PI Disponíveis" and "PI Selecionados". The "PI Selecionados" section shows a tree view with "Categoria / Plano de Informação" expanded, containing "CAT\_Imagem", "CAT\_Tematico", "propriedade", "Imagem\_registrada", and "propriedade\_banda2".

The "Leitura de Pixels" dialog box is open, displaying the following information:

```
Categoria: Imagem_registrada
Long = 0 48:06:33.705 Lat = 5 24:52:55.46
X = 792051.8 m Y = 7245009.0 m
Col: 5165 Lin: 4791

PI: propriedade_banda2
98 73 65
81 73 73
65 49 57

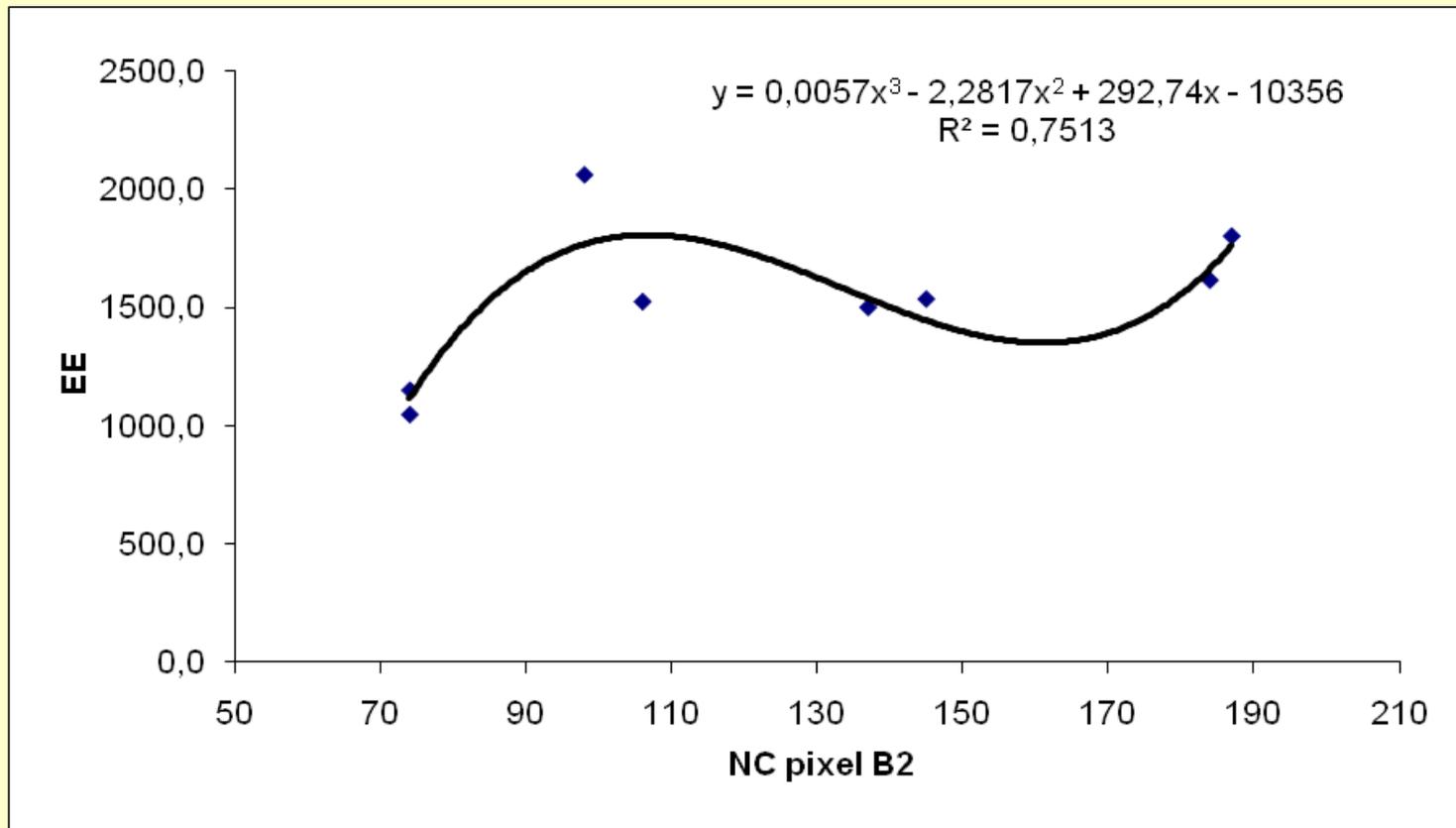
Categoria: Imagem_registrada
Long = 0 48:06:11.454 Lat = 5 24:52:44.87
X = 792683.5 m Y = 7245321.7 m
Col: 5186 Lin: 4781

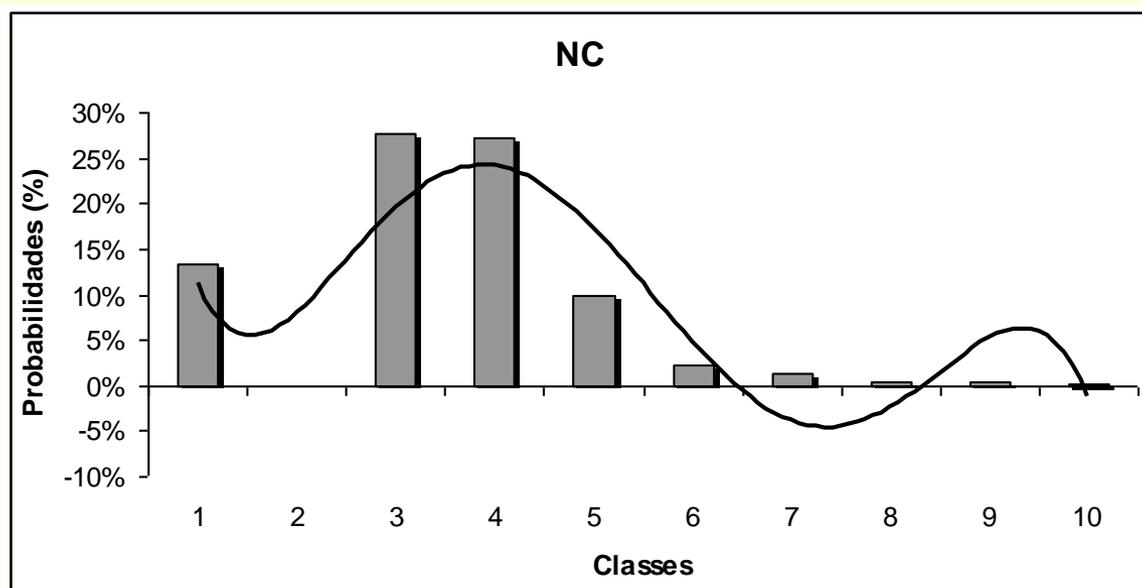
PI: propriedade_banda2
40 40 81
40 49 57
49 49 57
```

The dialog box also includes a "Dimensão:" field set to "3x3", a "Posicionar Cursor..." button, a "Salvar..." button, and "Apagar", "Fechar", and "Ajuda" buttons. To the right of the dialog box is a grayscale image of a satellite or aerial photograph. A green crosshair is visible on the image, indicating the current cursor position. The status bar at the bottom of the window shows "0%" zoom and "PI: propriedade\_banda2".

# Nível de cinza do pixel (NC)

- Resultado da regressão polinomial





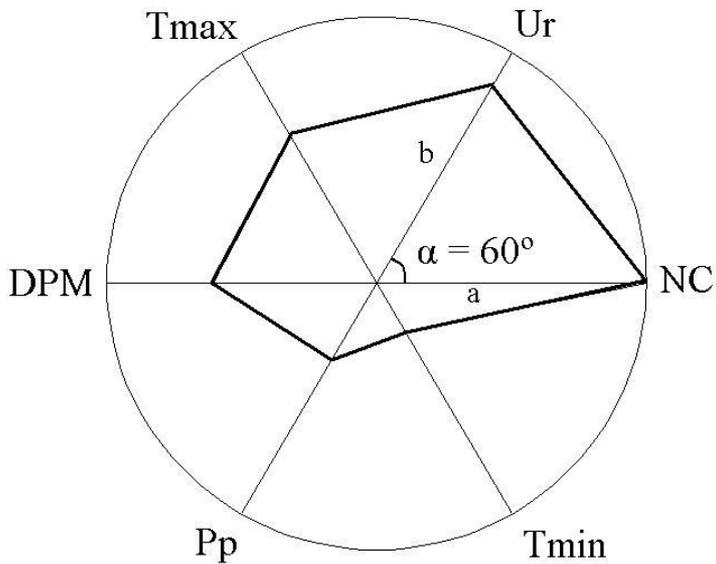
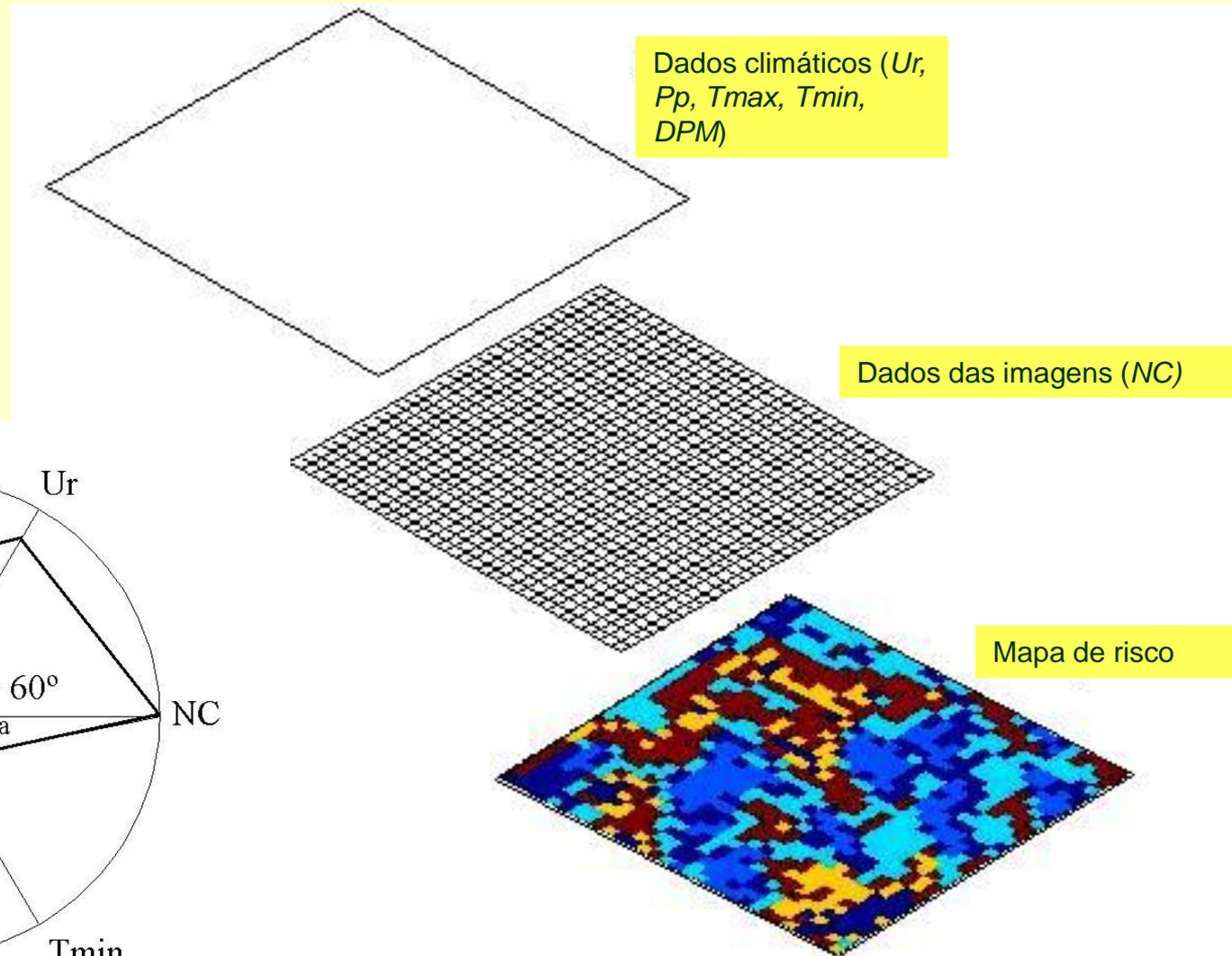
Classes	Intervalo (%)	Risco
1	34,4	baixo
2	58,8	baixo
3	83,2	baixo
4	107,6	alto
5	132	médio
6	156,4	médio
7	180,8	médio
8	205,2	alto
9	229,6	alto
10	255	alto

$$f(x) = -0,0006x^5 + 0,0157x^4 - 0,1562x^3 + 0,6707x^2 - 1,1695x + 0,7525$$

*Erro padrão = 0,9581*

*R<sup>2</sup> = 0,7589*

# Mapa de risco

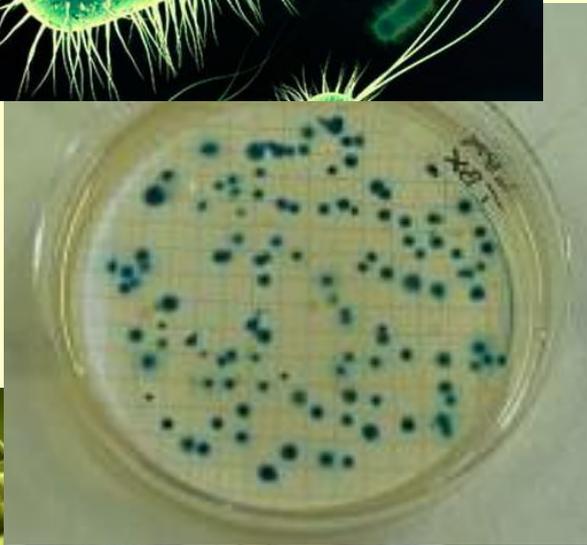
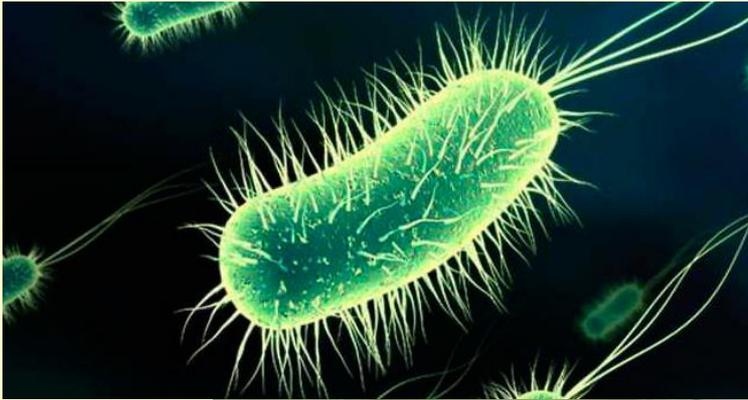


# Importância dos resultados

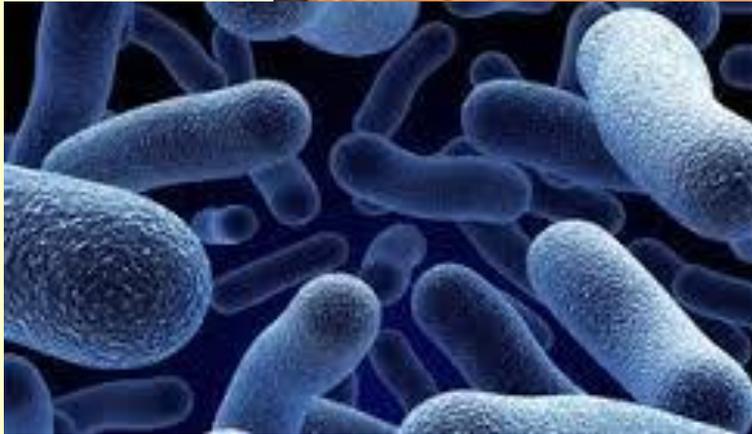
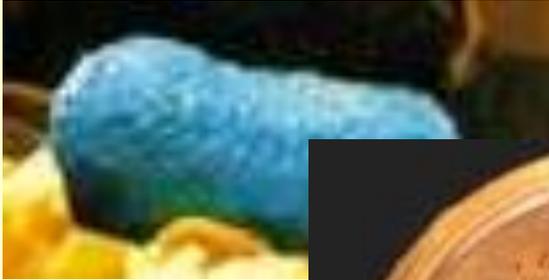
- O método é promissor para detecção de épocas e locais com condições favoráveis a ocorrência da Sigatoka-negra, para a região considerada.
- O modelo computacional desenvolvido se mostrou útil para a construção de sistemas de alertas, programas de controle da doença de forma a otimizar o uso de energia, minimizar impactos e melhorar índices de produtividade.

# **Segundo exemplo:** Usando um sistema customizado de visão computacional para reconhecimento da formação de colônias e contagem de bactérias vivas na indústria agrícola

Arranjo baseado em um sistema customizado de visão computacional que permite a contagem e reconhecimento da formação de colônias de bactérias vivas. O método usa a técnica de processamento de imagens digitais, como Transformada de Hough para objetos circulares. Para a validação foram utilizados um computador customizado, sensor CCD e uma câmara iluminada devidamente preparada, para permitir a análise das bactérias *Escherichia coli* e *Acidithiobacillus ferrooxidans*. O ambiente visual, Borland Builder C ++ e uma modelagem para a tomada de decisão foi incorporado para agregar inteligência para a indústria agrícola.



A bactéria E. coli foi descoberta no cólon humano em 1885 pelo bacteriologista alemão Theodor Escherich. Tipos de E. coli podem causar infecções gastrointestinais, contaminação de alimentos e bebidas. Um estudo publicado sobre o custo anual estimado de doenças devido à E. coli chega em cerca de US\$ 400 milhões, que incluiu US\$ 370 milhões para mortes prematuras, US\$ 25 milhões para assistência médica e US\$ 5 milhões para perdas na produtividade.



Acidithiobacillus ferrooxidans emergiu como uma bactéria economicamente significativa no campo da lixiviação de minérios desde a sua descoberta em 1950 por Colmer, Templo e Hinkle.

Bactéria que pode metabolizar enxofre (S), ou seja, é de grande importância para a agricultura.

# Importância da microbiologia

Essencial no controle da qualidade dos alimentos, da água, do solo e meio ambiente.

Existem diferentes métodos laboratoriais para a contagem de bactérias:

Câmeras de Contagem;  
Número Mais Provável;  
Filtros de membrana;  
Fotômetros e espectrômetros.

(limitações de contagem ao vivo e bactérias mortas)

# Oportunidades

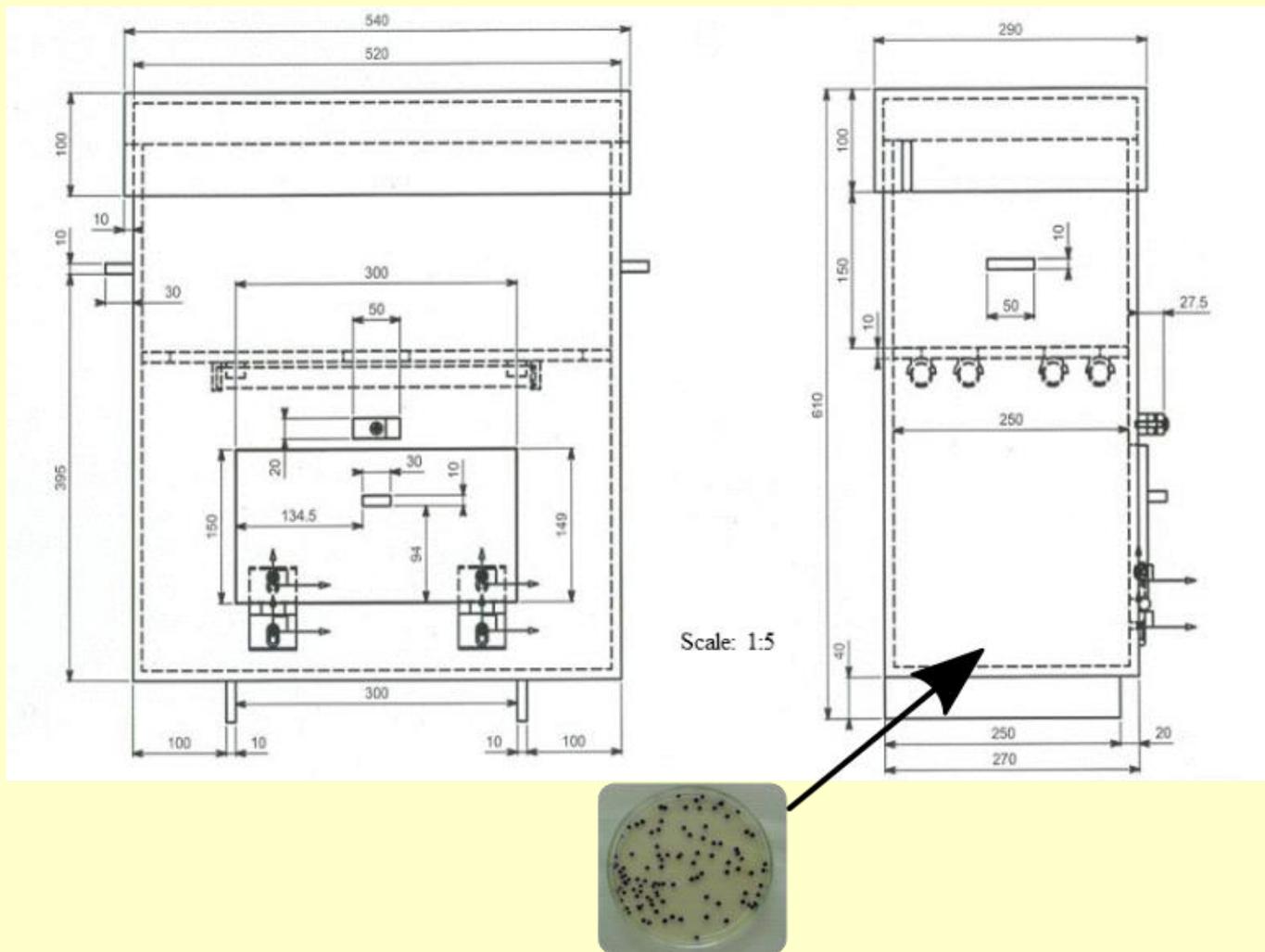
1. O desenvolvimento de um processo inteligente que permite o reconhecimento de padrões e contagem das colónias de bactérias vivas formação (formação de colónias estrutural, o que exclui as bactérias mortas e detritos), isto é, o método que utiliza visão computacional personalizada e sensor CCD.
2. Obtenção de um método automático para a contagem das unidades formadoras de colônias, o que pode acelerar o número de análises laboratoriais.

O método baseado na **análise manual** utiliza uma superfície acrílica reticulada e iluminada, onde a placa de Petri é colocada. Também, há um aumento com o uso de uma lente e de uma haste flexível que permite que os especialistas possam visualizar e contar as colônias de bactérias existentes.

Petri dish



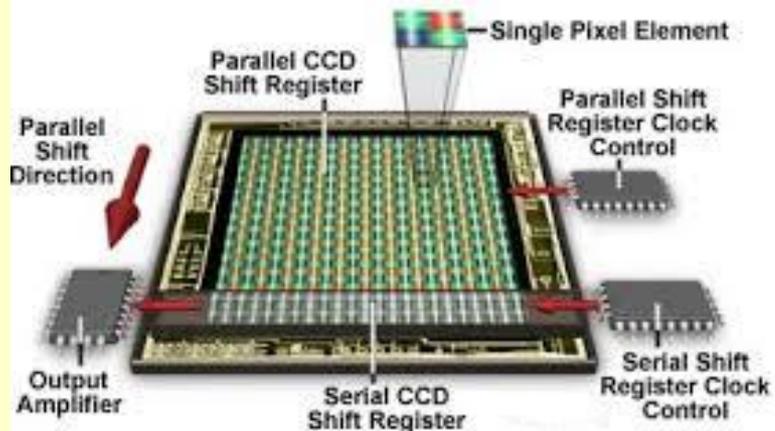
Contador de Colônias  
Phoenix Lufarco  
CP-608



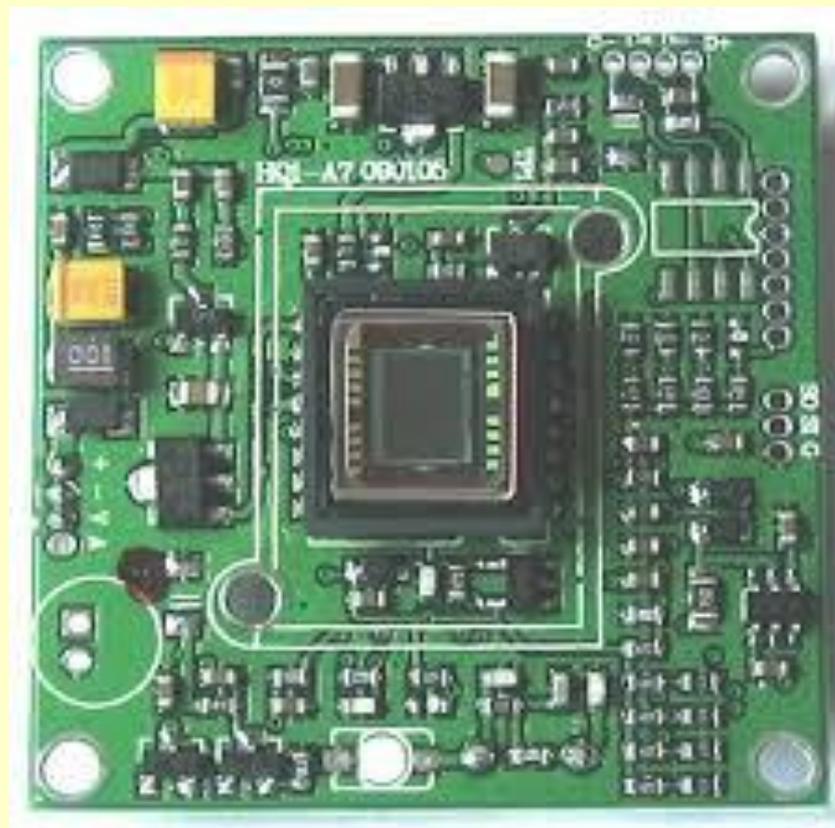
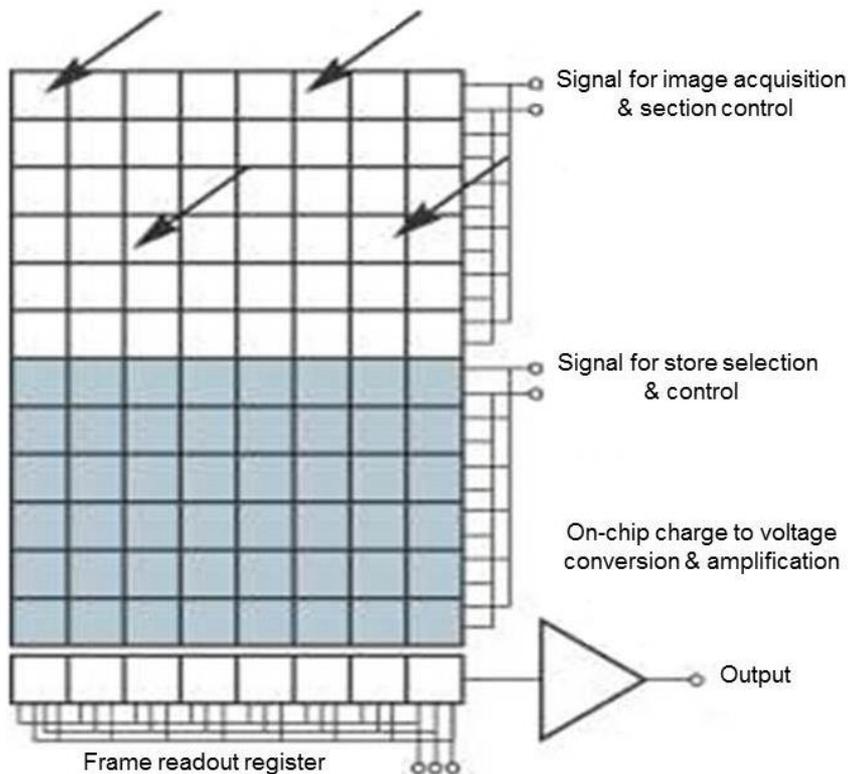
Sistema de iluminação para a aquisição de informações de colónias de bactérias localizadas em placas de Petri:

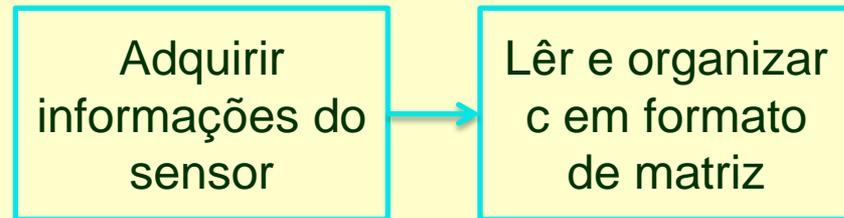
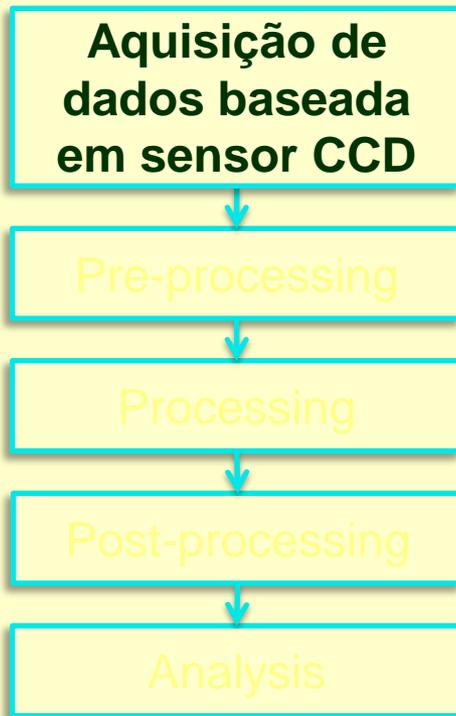
- 4 lâmpadas fluorescentes de 20 watts;
- 2 reatores;
- caixa de 500mm x 250 mm x 500 mm;
- sensor CCD incorporado e sistema de computador customizado.

### Full-Frame CCD Architecture



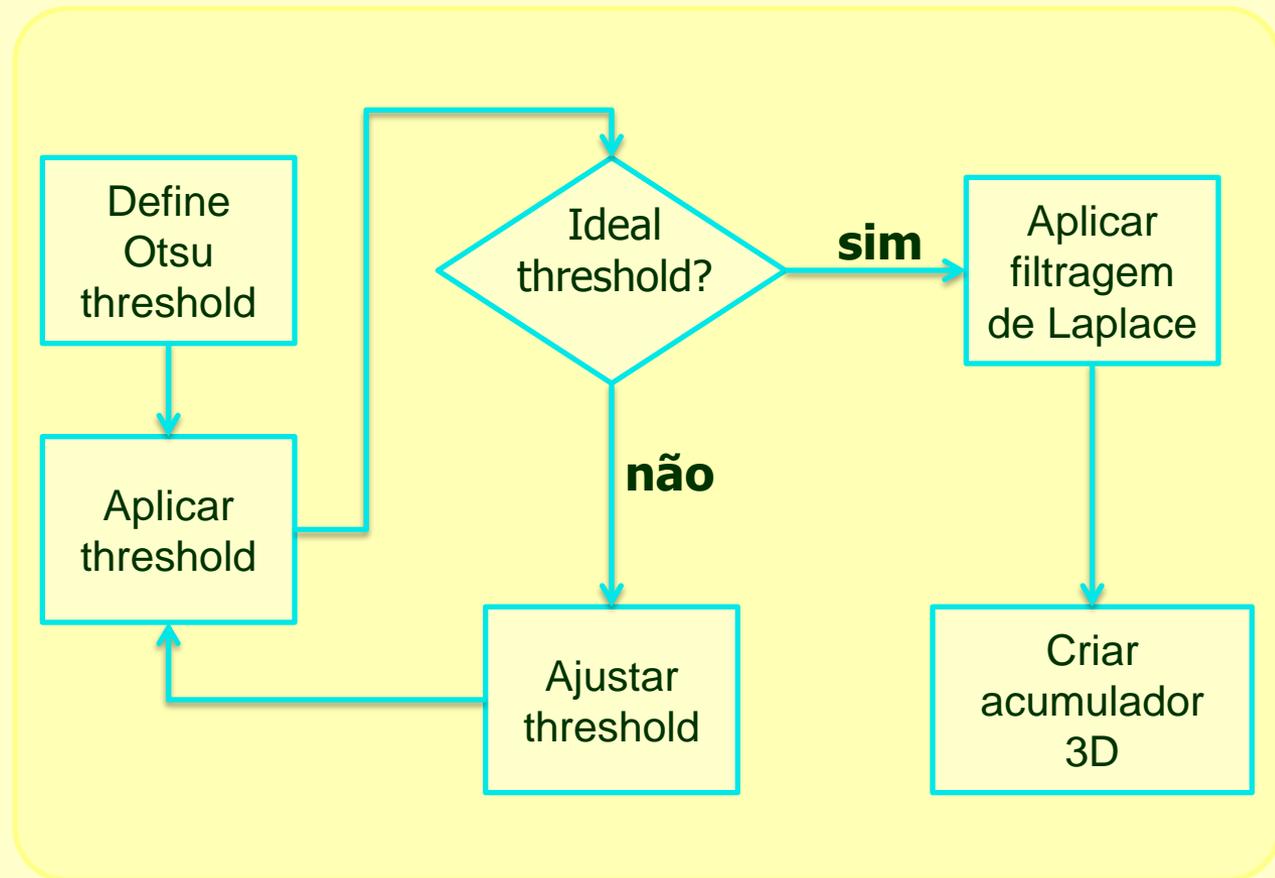
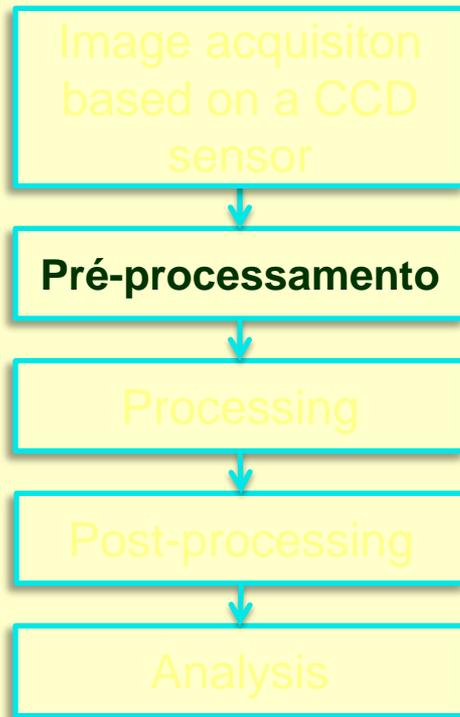
O sensor CCD leva em conta fótons que chegam a superfície de silício e cria-se elétrons livres através do efeito fotoelétrico.

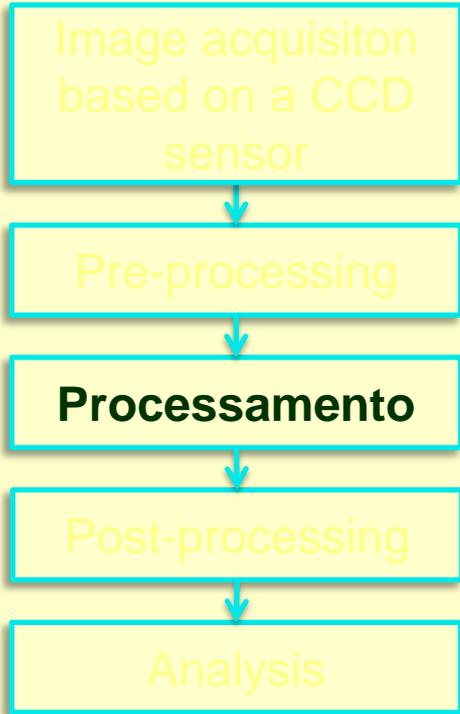




---

A captura é obtida por meio de um sensor CCD que permite ótima miniaturização. O ICX425AQ, tendo uma diagonal de 9,04 milímetros (Tipo 1 / 1,8) 5.13M células, para responder à necessidade, isto é, o tamanho da célula unitária igual a  $2.775\mu\text{m}$  (H) por  $2.775\mu\text{m}$  (V).





Circular Hough Transform

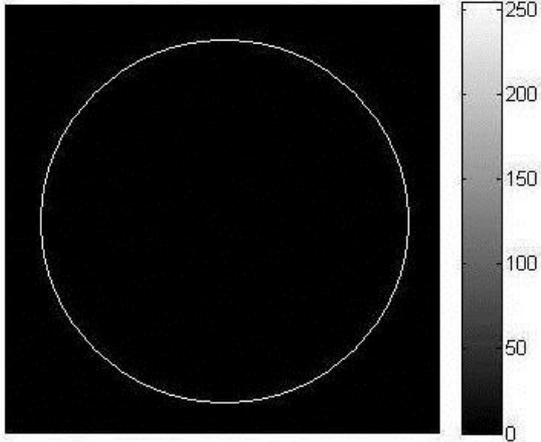
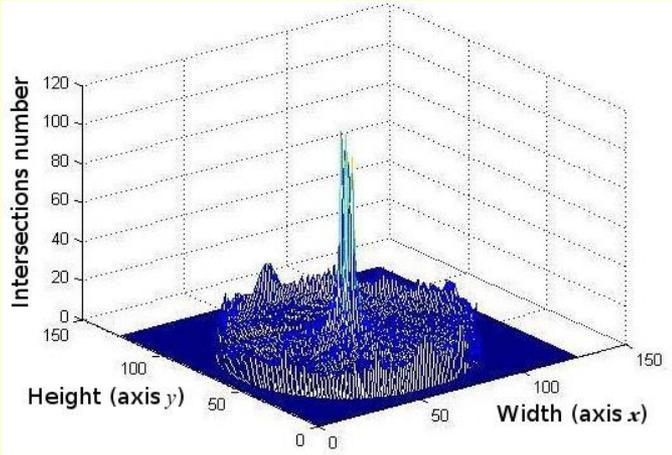
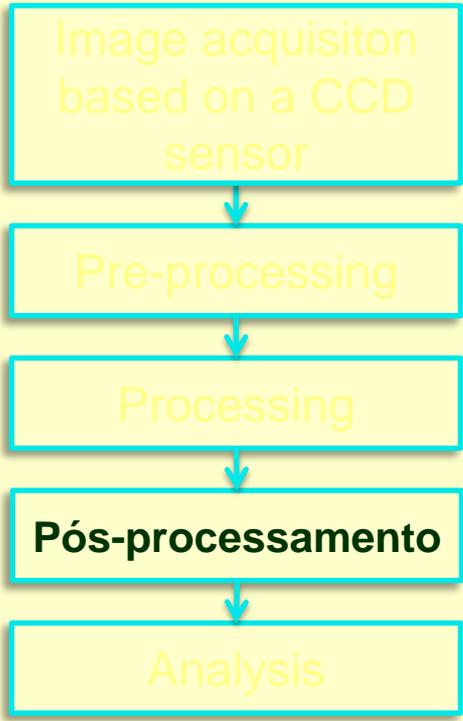


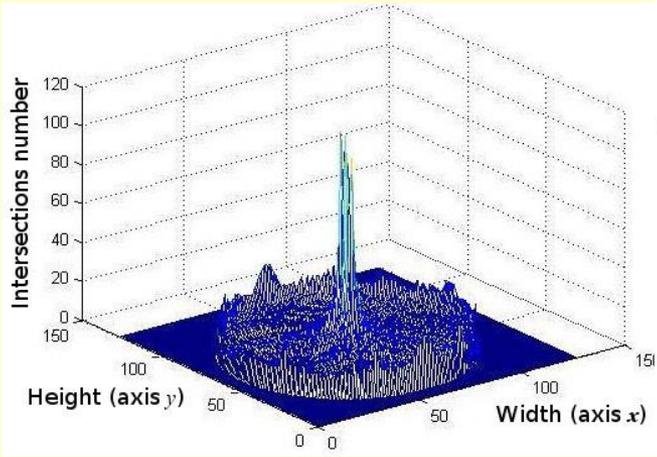
Image: 70 x70 pixels  
Radius: 25 pixels



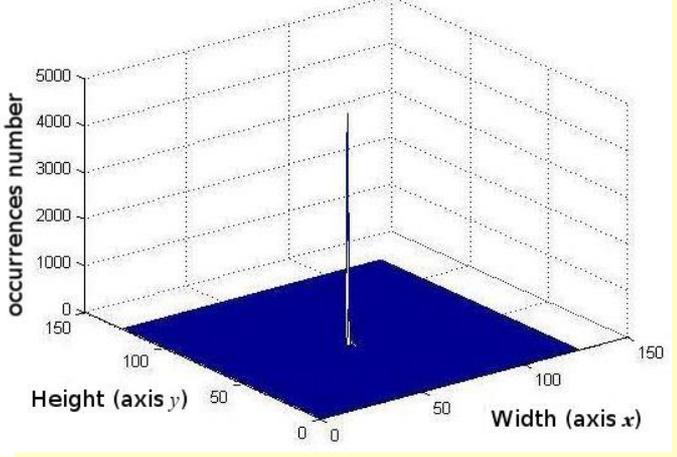
Accumulator array



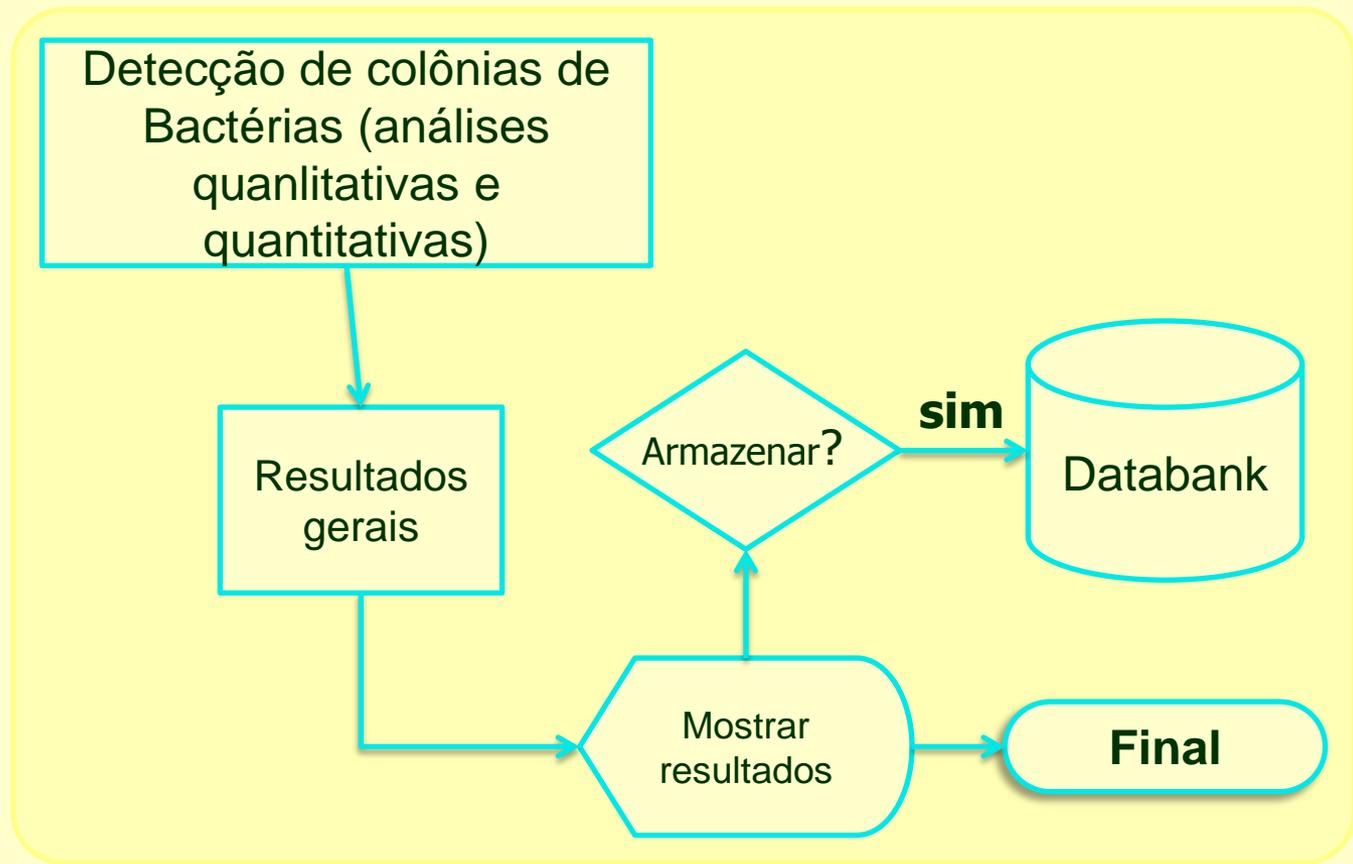
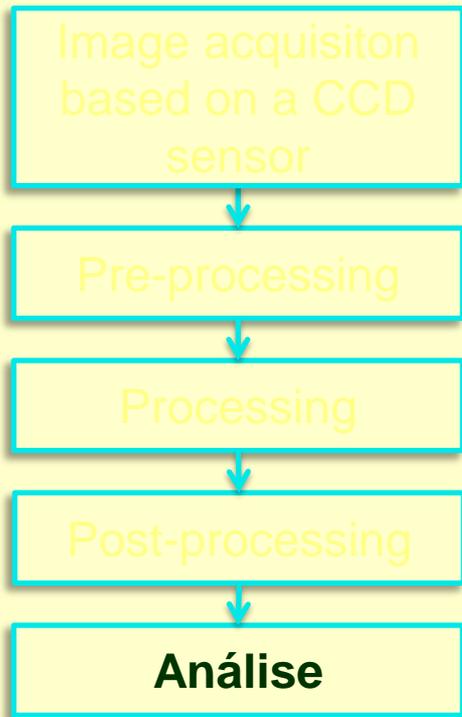
Backmapping

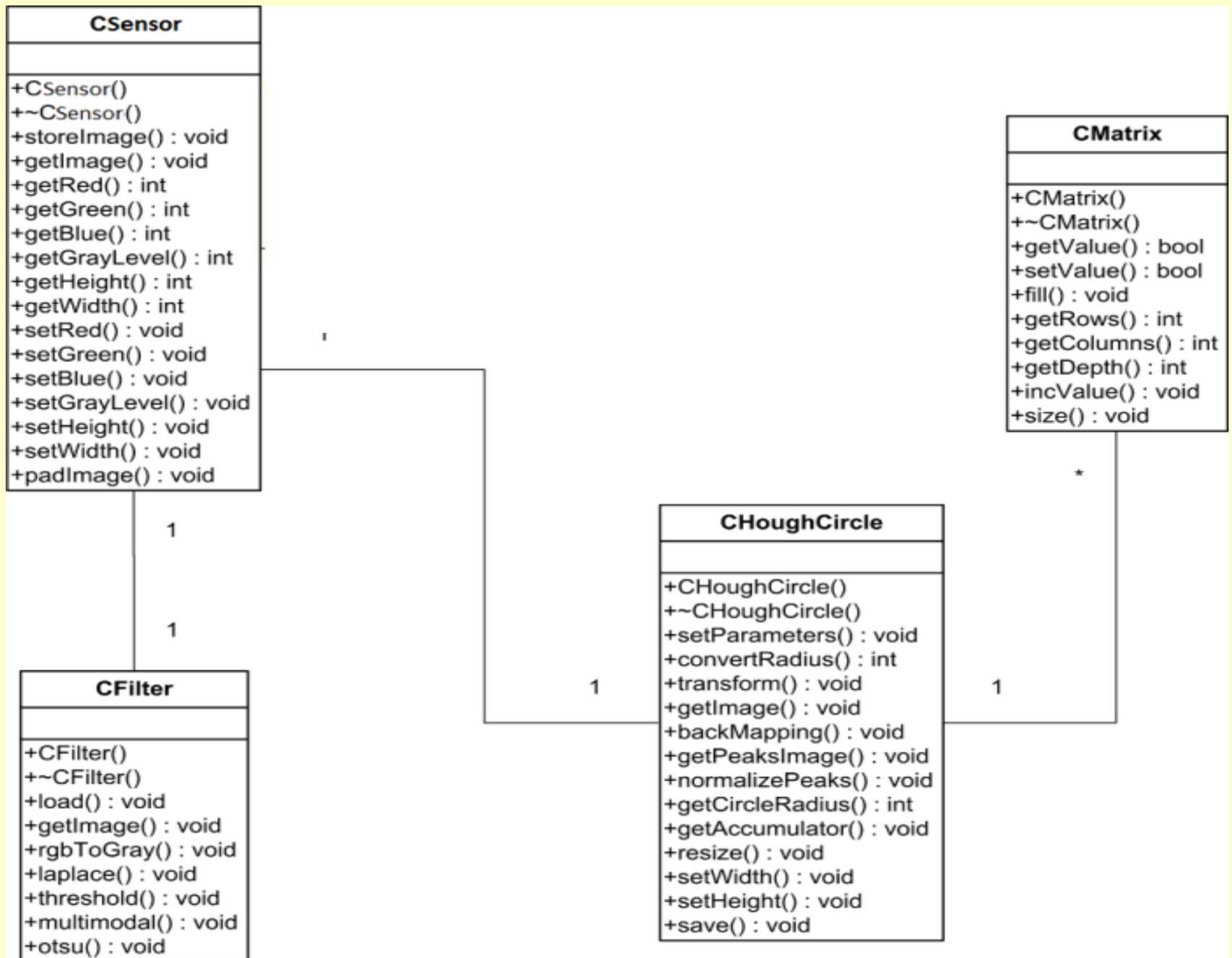


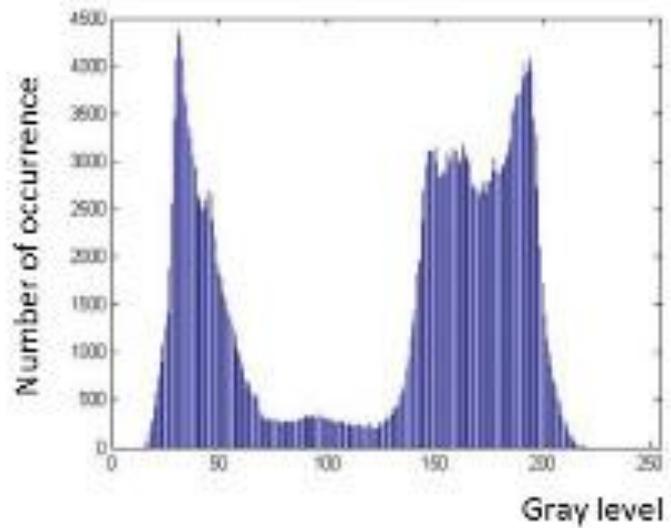
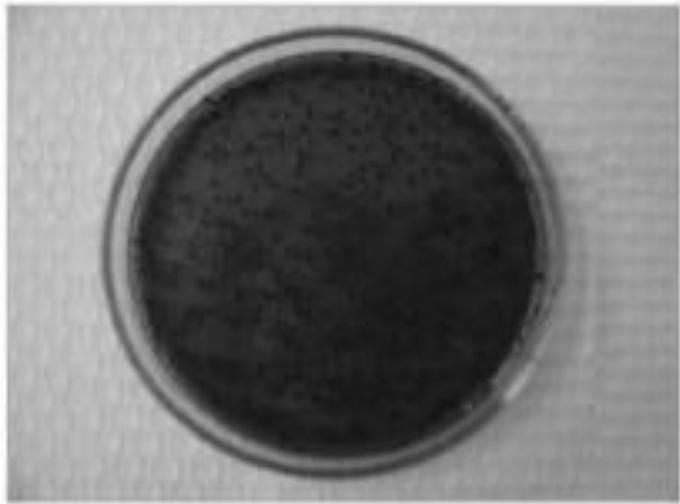
Accumulator array



Post-processed accumulator array

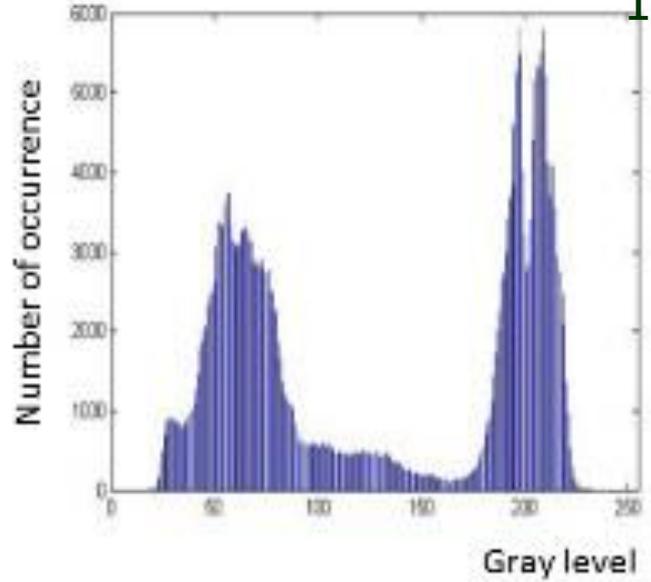
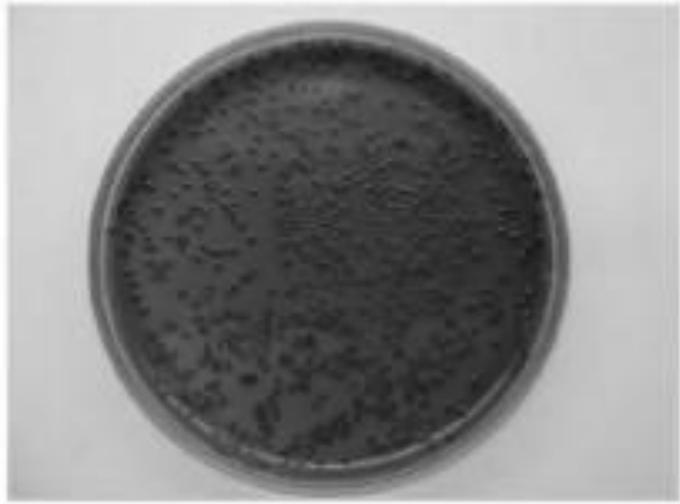






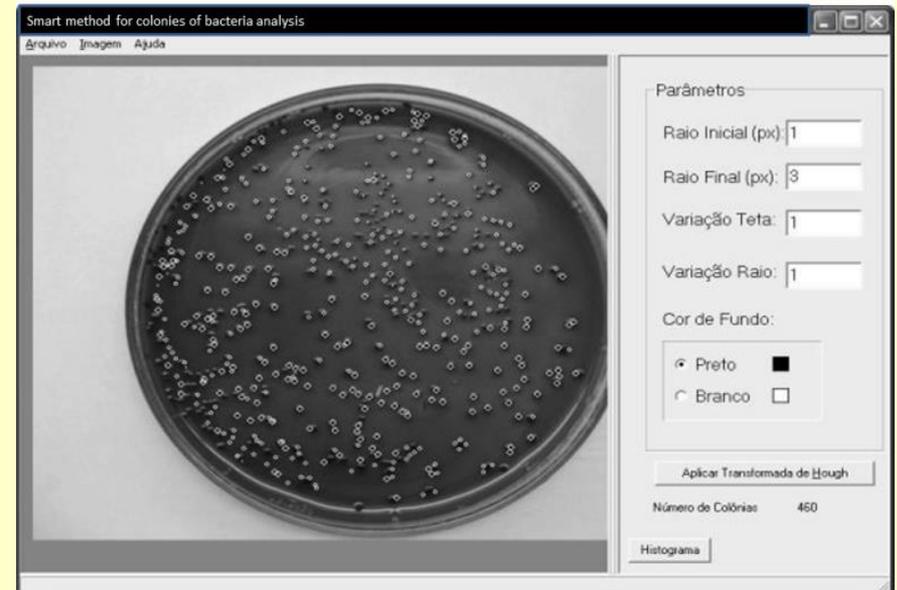
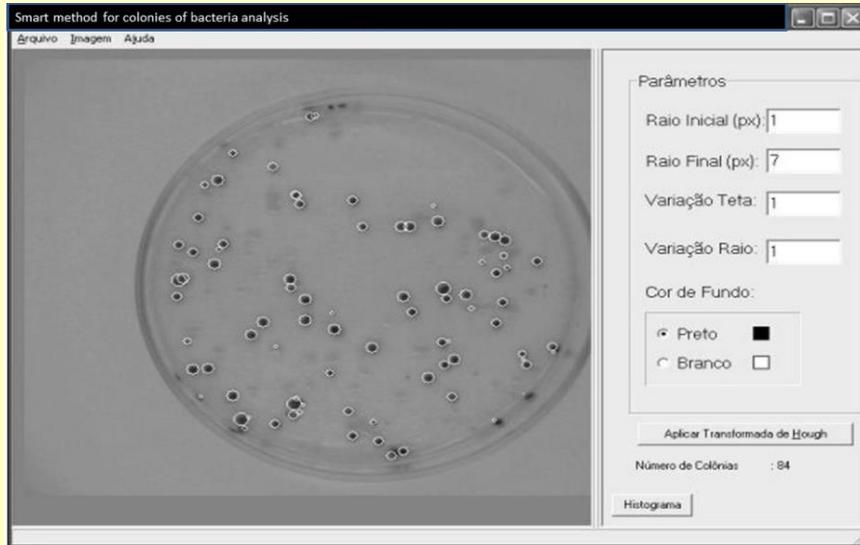
(a)

Iluminância:  
750 lumen/m<sup>2</sup>  
1200 lumen/m<sup>2</sup>



(b)

1. Grupo #1: **5** amostras de *Escherichia coli*
2. Grupo #2: **21** amostras de *Acidithiobacillus ferrooxidans*



## Grupo #1: Escherichia Coli

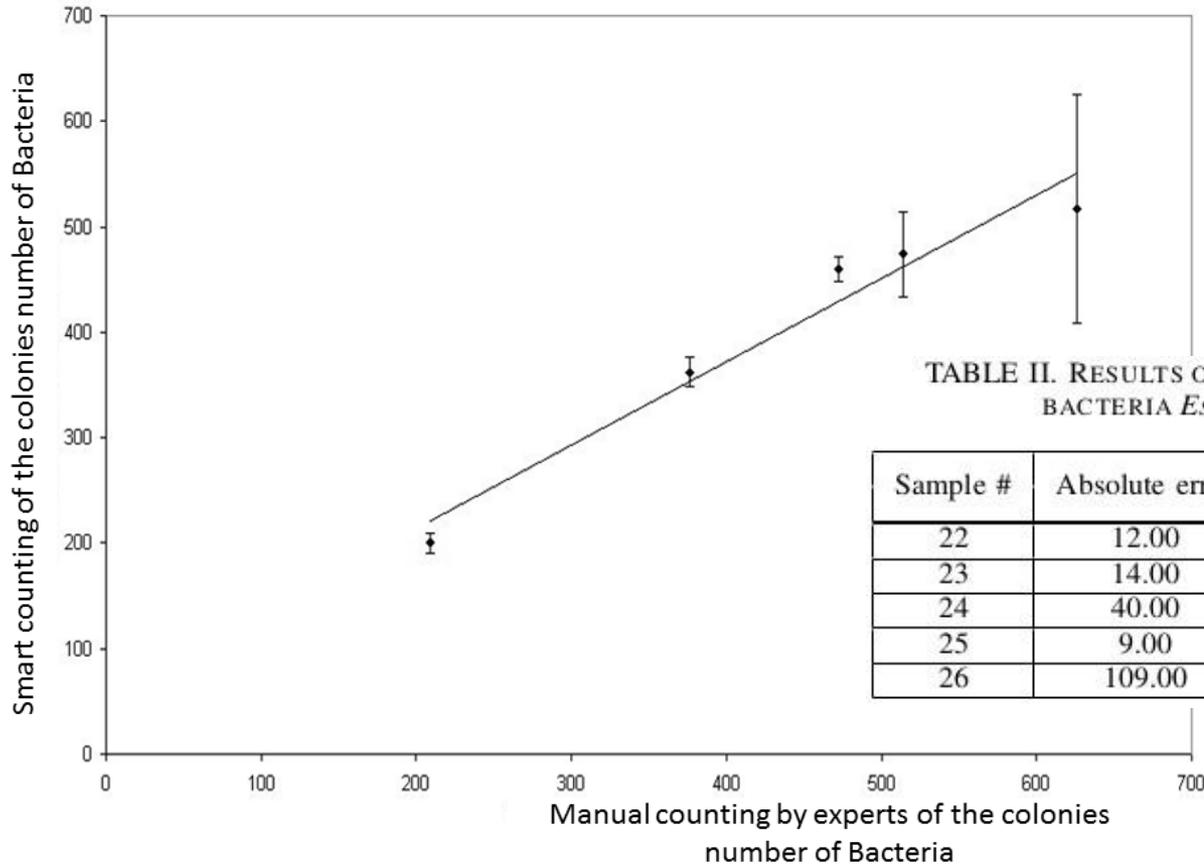


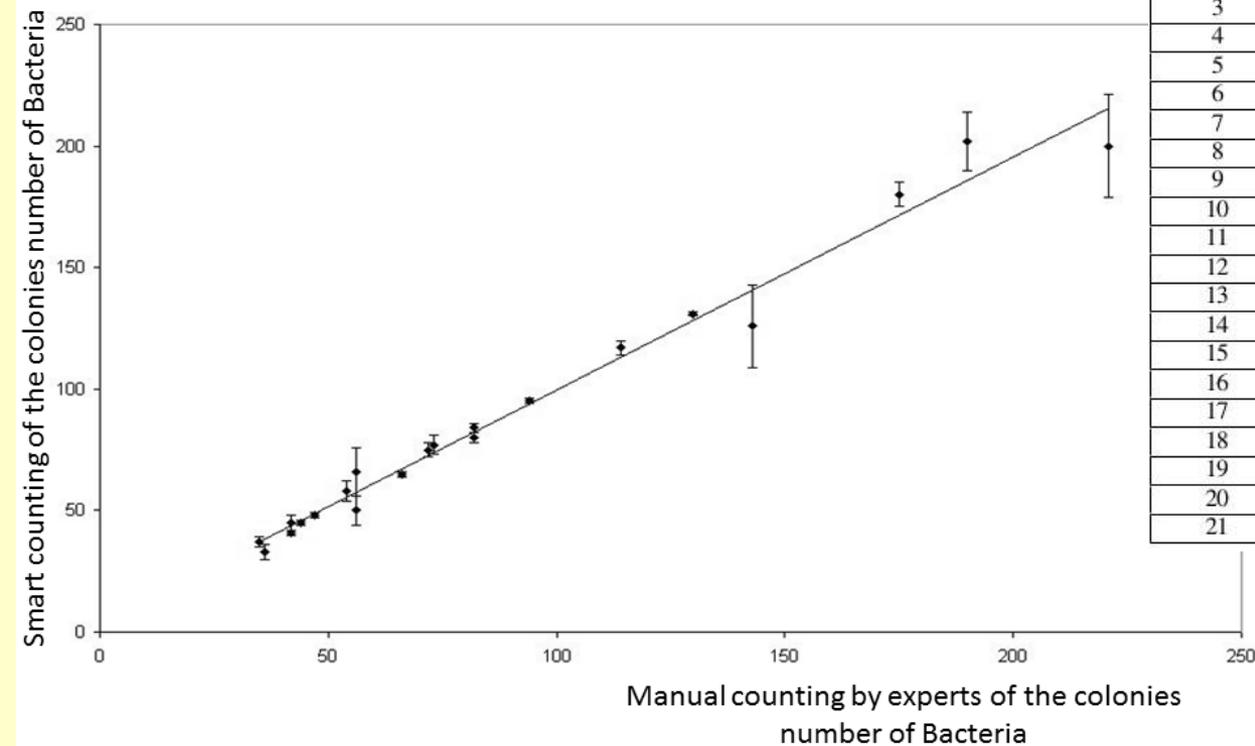
TABLE II. RESULTS OF THE ANALYSIS OF SAMPLES HAVING THE BACTERIA *Escherichia coli* IN SOLID CULTURE.

Sample #	Absolute error	Manual error		Smart method Error	
		Relative	%	Relative	%
22	12.00	0.03	2.54	0.03	2.61
23	14.00	0.04	3.72	0.03	3.87
24	40.00	0.08	7.78	0.08	8.44
25	9.00	0.04	4.31	0.05	4.50
26	109.00	0.17	17.41	0.21	21.08

## Grupo #2: *Acidithiobacillus ferrooxidans*

TABLE III. RESULTS OBTAINED FOR THE SAMPLES PREPARED WITH THE *Acidithiobacillus ferrooxidans* ON SOLID CULTURE.

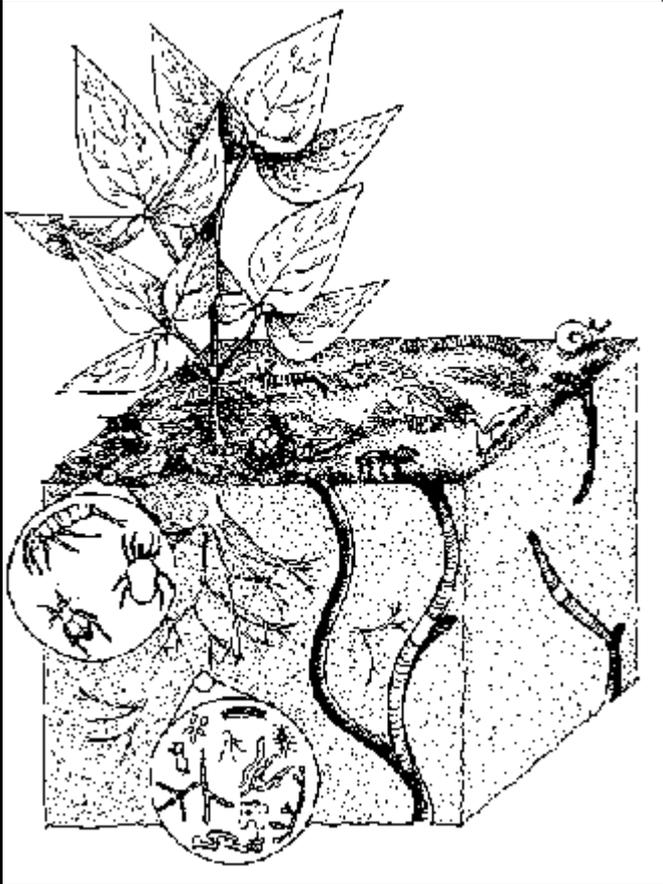
Sample #	Absolute error	Manual error		Smart method Error	
		Relative	%	Relative	%
1	2.00	0.02	2.44	0.02	2.38
2	1.00	0.02	1.52	0.02	1.54
3	6.00	0.11	10.71	0.12	12.00
4	3.00	0.08	8.33	0.09	9.09
5	1.00	0.02	2.38	0.02	2.44
6	3.00	0.03	2.63	0.03	2.56
7	1.00	0.01	0.77	0.01	0.76
8	10.00	0.18	17.86	0.15	15.15
9	3.00	0.04	4.17	0.04	4.00
10	2.00	0.02	2.44	0.03	2.50
11	1.00	0.02	2.27	0.02	2.22
12	5.00	0.03	2.86	0.03	2.78
13	1.00	0.02	2.13	0.02	2.08
14	1.00	0.01	1.06	0.01	1.05
15	21.00	0.10	9.50	0.11	10.50
16	17.00	0.12	11.89	0.13	13.49
17	3.00	0.07	7.14	0.07	6.67
18	12.00	0.06	6.32	0.06	5.94
19	2.00	0.06	5.71	0.05	5.41
20	4.00	0.05	5.48	0.05	5.19
21	4.00	0.07	7.41	0.07	6.90



# Importância dos resultados

- O método apresentado permitiu reconhecimento inteligente e análise qualitativa não-supervisionada e contagem das colônias de bactérias.
- Os resultados mostraram alta correlação linear, isto é, quando comparado com a análise manual executada por pessoas experientes. Em ambos os casos, os coeficientes de correlação linear estiveram em torno de 0,99, isto é, para as amostras de *Escherichia coli* (Grupo # 1), e para as amostras da *Acidithiobacillus ferrooxidans* (Grupo # 2), respectivamente.
- No futuro, com base em análise qualitativa e quantitativa sobre as bactérias e as colônias, métodos adicionais poderão ser concebidos para uso direto em campo agrícola para análises in situ. Além disso, este método será capaz de ser incorporado em smartphones Android para processamento on-line.

O desafio para o entendimento de problemas complexos e reais depende fortemente de conhecimentos em modelagem computacional



**Obrigado!**