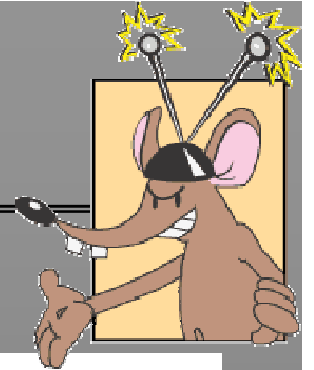




Dinâmica de Sistemas



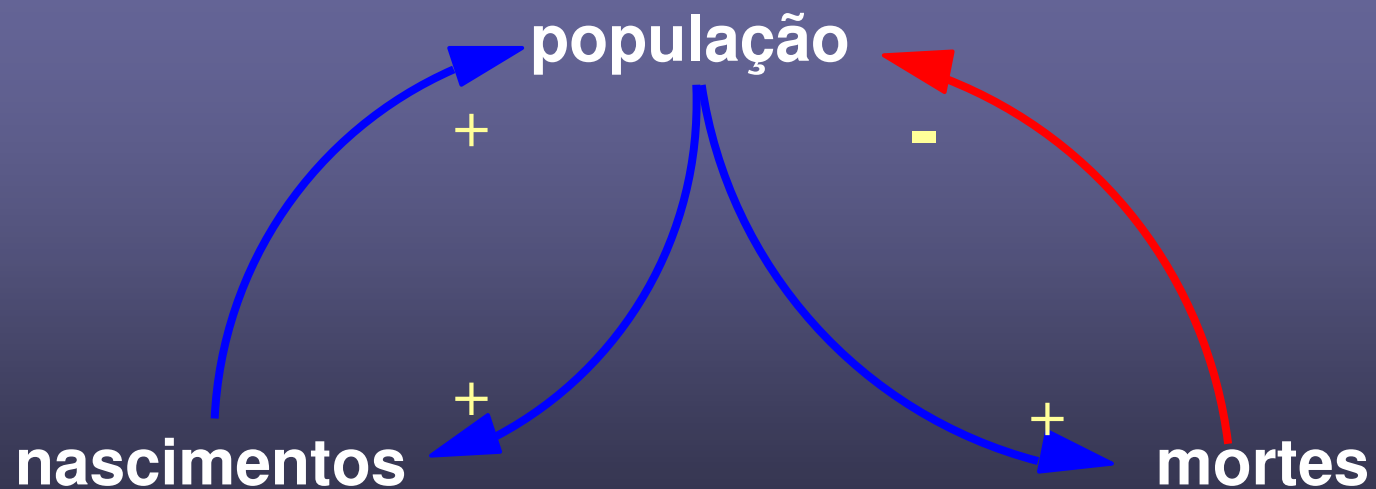
Exercício:

O crescimento de uma população de ratos é regulado pelos nascimentos e mortes. Calhoun, em 1962, realizou um experimento mantendo confinada uma população de ratos em 1000 m². Havia abundância de alimento e as doenças e predadores foram eliminados. Considerando-se a taxa de reprodução dos animais e a sua mortalidade, se esperava que a população crescesse a mais de 5000 indivíduos. No entanto, a população estabilizou-se em cerca de 150 indivíduos. Este pesquisador observou que o *stress* social causado pelas interações entre os indivíduos em densidades populacionais mais elevadas resultou em uma ruptura no comportamento maternal das ratas, fazendo com que muito poucos recém nascidos sobrevivessem.

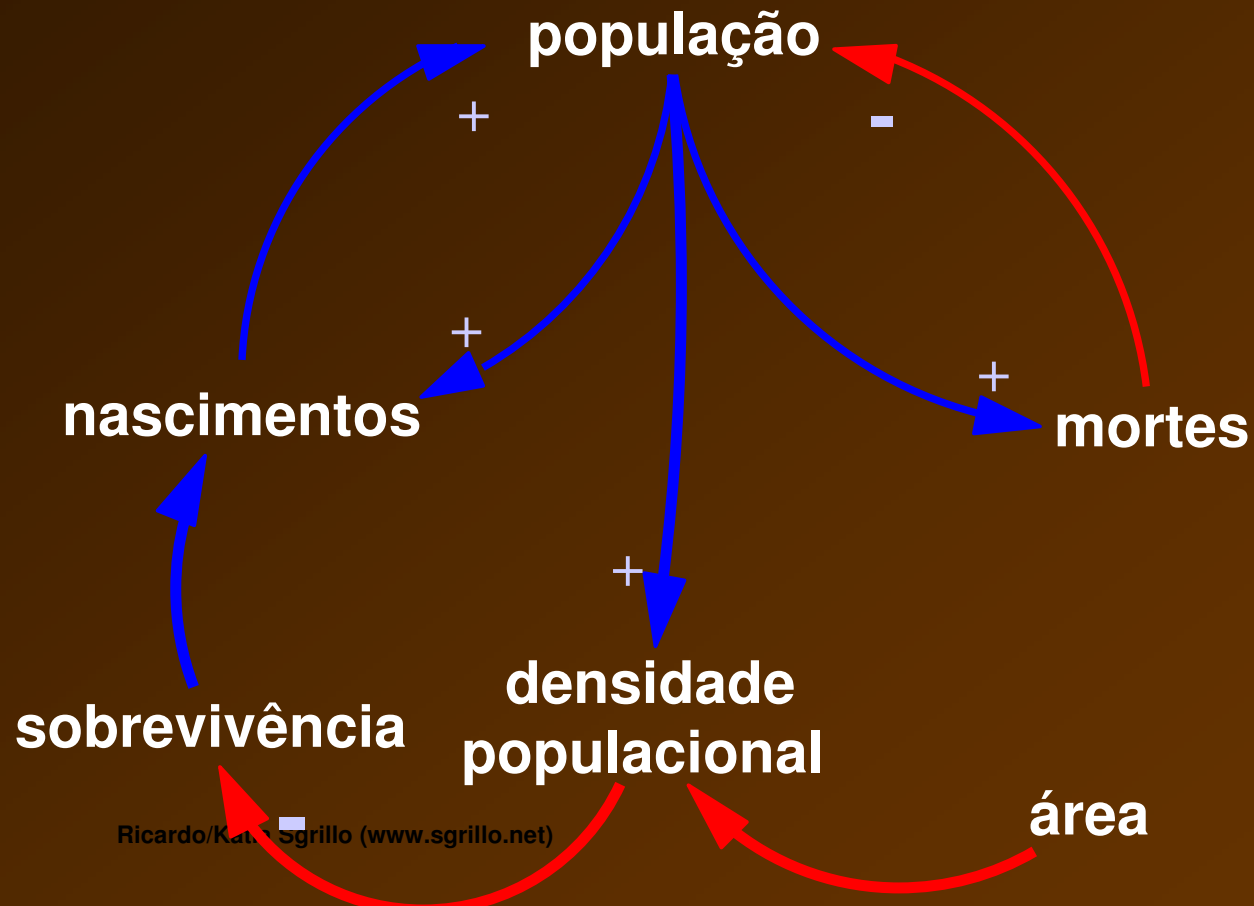
Diagrama de causalidades



O crescimento de uma população de ratos é regulado pelos nascimentos e mortes



...o stress social causado pelas interações entre os indivíduos em densidades populacionais mais elevadas resultou em uma ruptura no comportamento maternal das ratas, fazendo com que muito poucos recém nascidos sobrevivessem.



Construção do Modelo:

(utilizando Diagrama de Causalidades)

Identificar compartimentos
(***variáveis de estado***)
quantidade que representa
o estado do sistema e as
respectivas unidades



- **População de ratos**
(indivíduos)

Identificar ***fluxos*** que
regulam o compartimento
(quantidade por unidade
de tempo)



- **nascimentos**
(indivíduos/mês)
- **mortes**
(indivíduos/mês)



Identificar ***variáveis auxiliares***

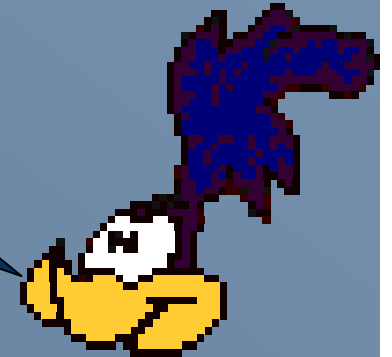
- **densidade populacional**
(indivíduos/m²)
- **sobrevivência**
(é uma proporção e não tem unidade)



Identificar ***variáveis externas*** que não são afetadas pelo sistema
(driving variables)

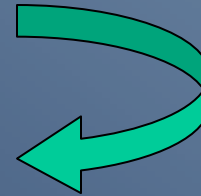
- **área (m²)**

Identificar variáveis e constantes adicionais que necessitam ser criadas



Para calcular as mortes por mês é necessário saber a proporção da população que morre por unidade de tempo. Esta proporção é o inverso da longevidade dos ratos.

- **longevidade** (meses)



Para se calcular os nascimentos por mês se necessita saber o número de fêmeas na população, através da proporção de fêmeas, quantas crias cada fêmea pode gerar e o período de gestação:

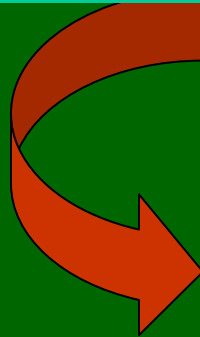
- **fêmeas** (indivíduos)
- **proporção de fêmeas** (é uma proporção e não tem unidade)
- **fertilidade** (indivíduos/indivíduo)
- **gestação** (meses)





A sobrevivência é uma função da densidade populacional

Esta função será indicada através de uma **tabela**, onde os valores x representam a densidade populacional e os valores Y as sobrevivência correspondentes. Assim será necessário a utilização de uma **variável adicional**:

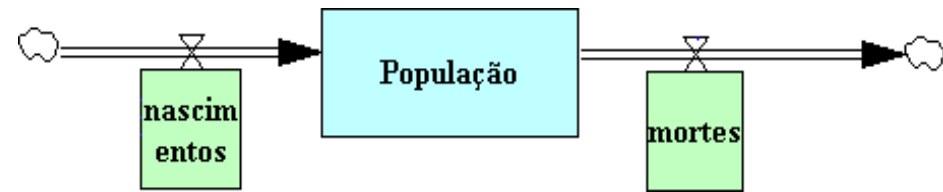


**tabela
sobrevivência**

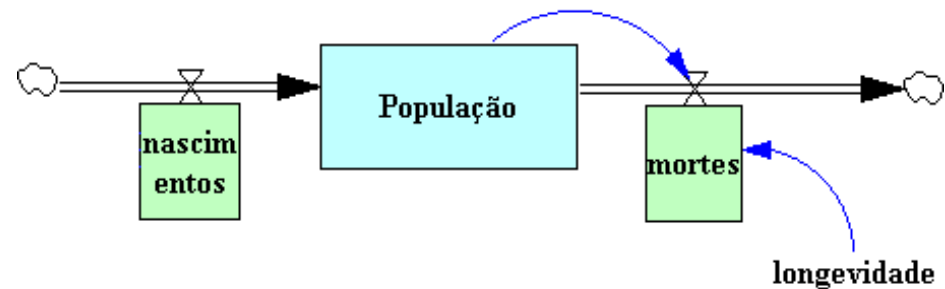
Diagrama de Forrester



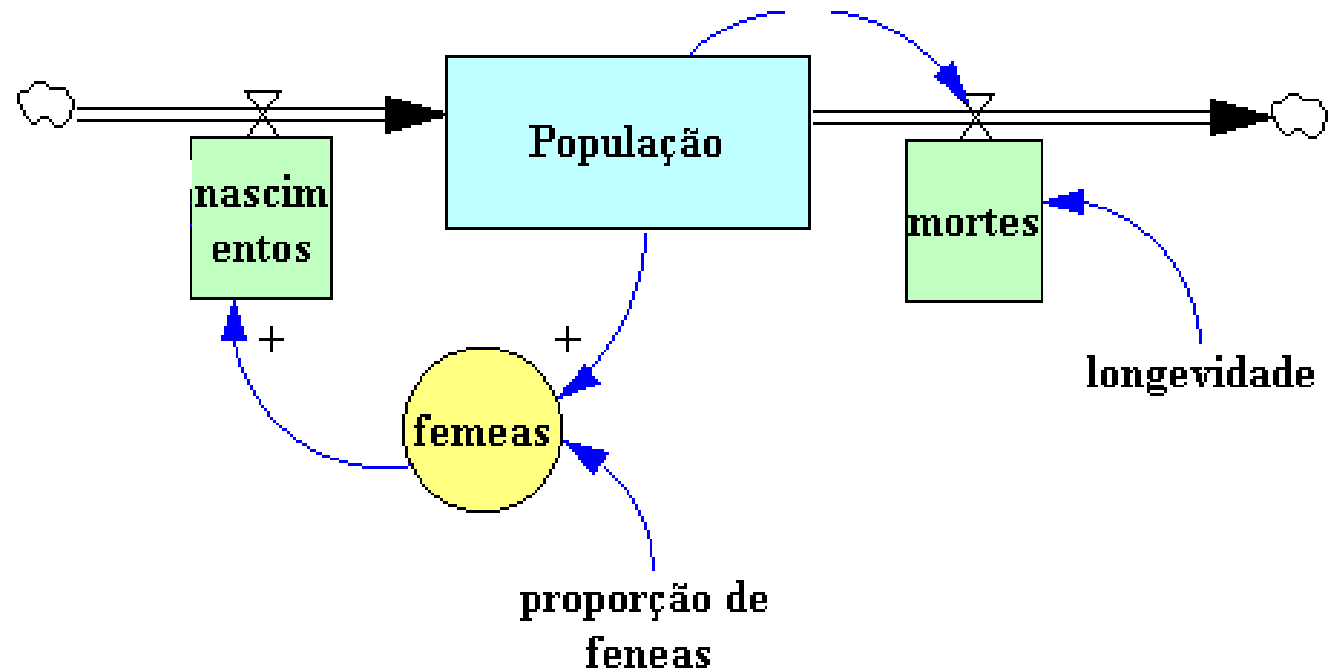
Iniciar criando o **compartimento** e seus **fluxos** de entrada e de saída:



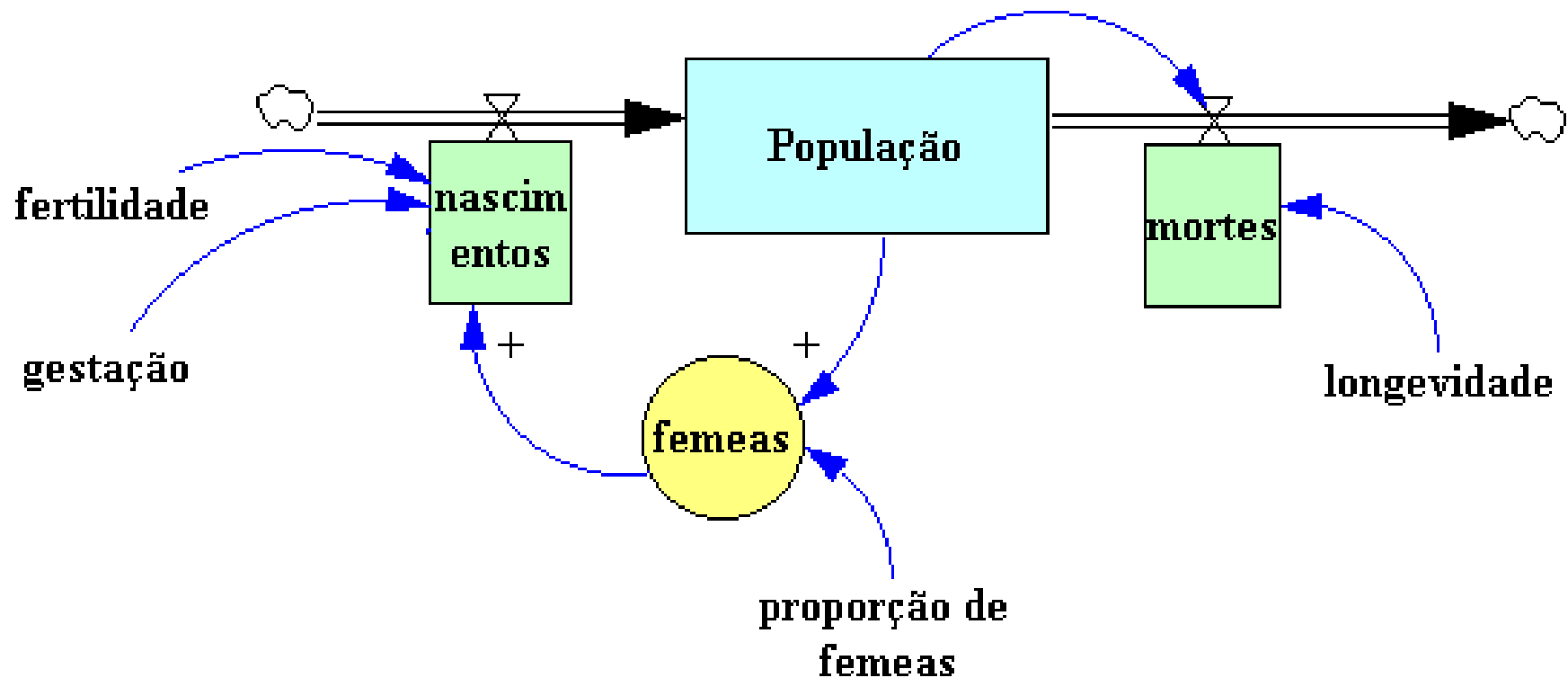
Criar a **constante** **longevidade** e indicar as **relações** entre **população**, **longevidade** e **mortes**.



Criar as variáveis **fêmeas** e **proporção de fêmeas** e indicar suas **relações** com os outros componentes.

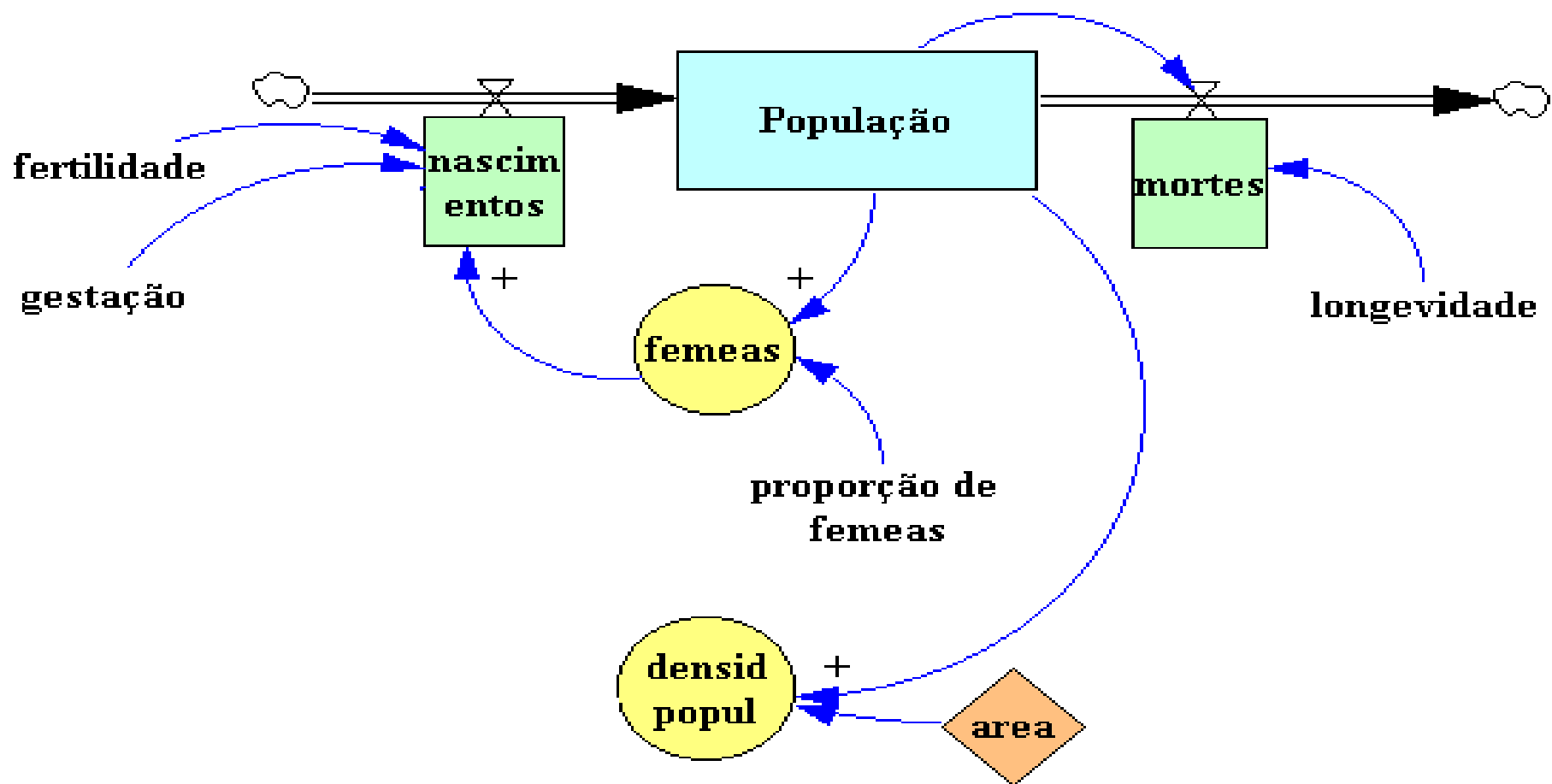


Criar as **variáveis**
longevidade e
gestação necessárias
para calcular os
nascimentos

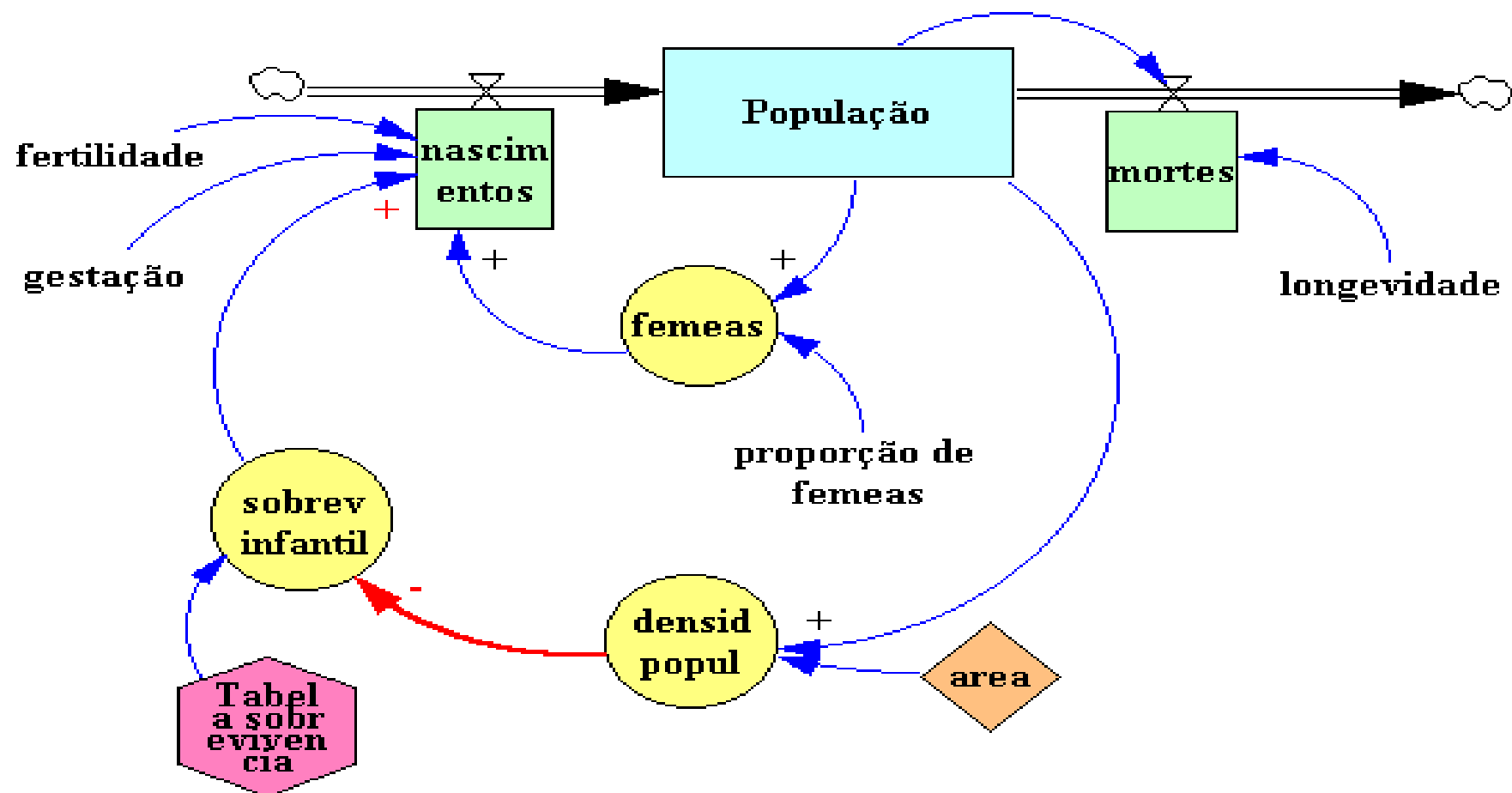




Criar as **variáveis área**
e densidade
populacional e indicar
suas relações:



Finalmente criar a **variável auxiliar *tabela sobrevivência***, e indicar suas relações com as demais variáveis.



Equações e unidades:

$$\text{População}_{(t+dt)} = \text{População}_{(t)} + dt * (\text{nascimentos} - \text{mortes})$$

$$\text{indivíduos} = \text{indivíduos} + \text{tempo} * (\text{indivíduos/tempo} - \text{indivíduos} / \text{tempo})$$

$$\text{mortes} = \text{população} / \text{longevidade}$$

$$\text{indivíduos/tempo} = \text{indivíduos} / \text{tempo}$$

$$\text{nascimentos} = \text{fêmeas} * \text{fertilidade} * \text{sobrevivência} / \text{gestação}$$

$$\text{indivíduos/tempo} = \text{indivíduos} * \text{indivíduos/indivíduos} * 1 / \text{tempo}$$

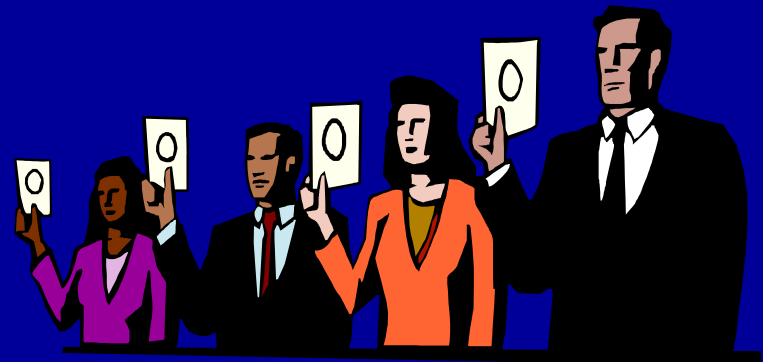
$$\text{fêmeas} = \text{população} * \text{proporção de fêmeas}$$

$$\text{indivíduos} = \text{indivíduos} * 1$$

$$\text{densidade popul} = \text{população/área}$$

$$\text{indivíduos/m}^2 = \text{indivíduos/m}^2$$

Ricardo/Katia Sgrillo (www.sgrillo.net)



Parâmetros



longevidade = 24 meses

fertilidade = 5 crias/fêmeas

gestação = 0.7 meses (21 dias)

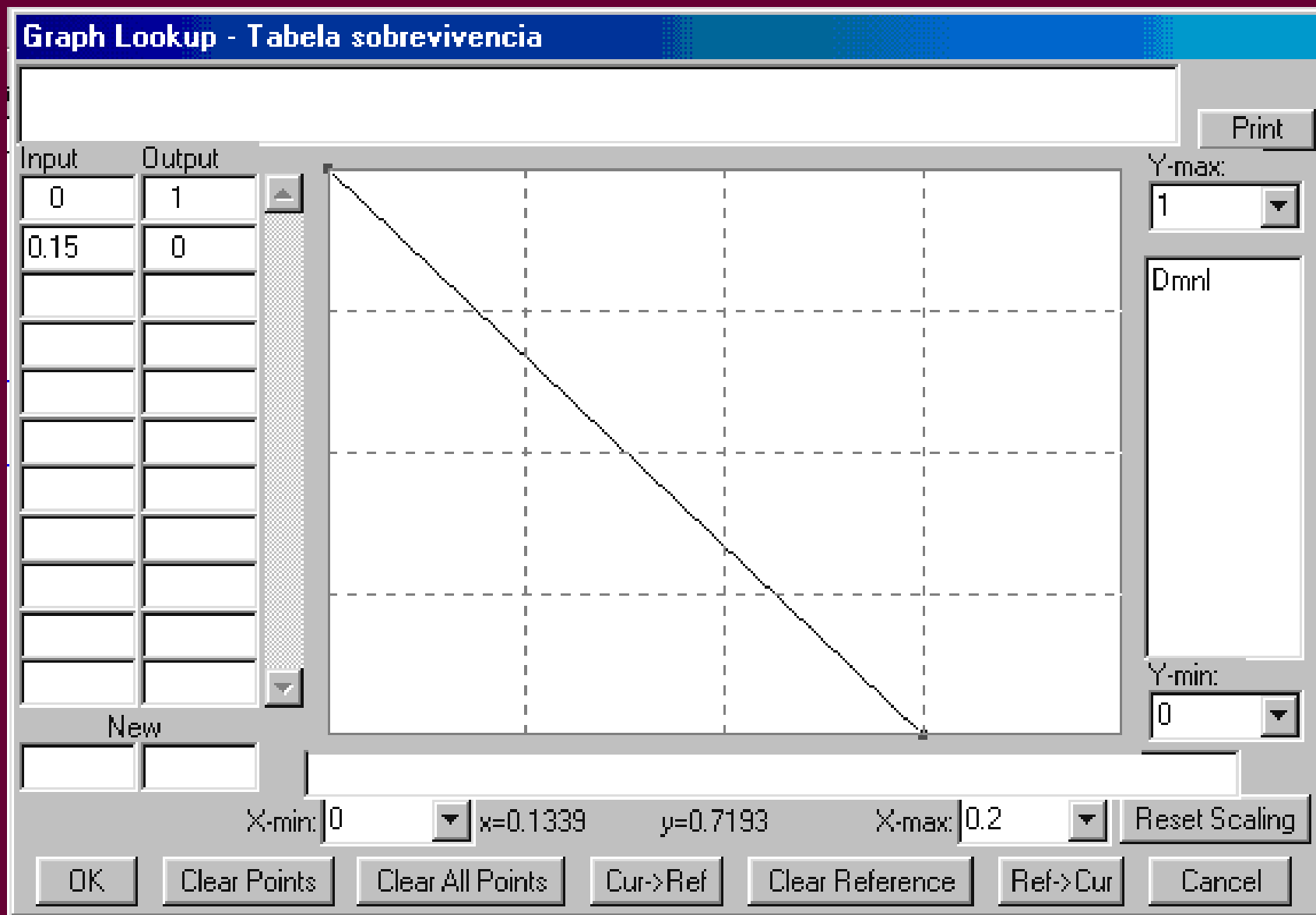
proporção de fêmeas = 0.5

população inicial = 2 ratos

área = 1000 m²

sobrevivência $\left\{ \begin{array}{l} = 1 \text{ (100\%)} \\ = 0 \text{ (0\%)} \end{array} \right.$ quando a densidade populacional é 0 ratos/m²
quando a densidade populacional é de 0.15 ratos/m² (150 ratos /1000 m²)

Tabela sobrevivência



Variáveis de controle



FINAL TIME = 12

TIME STEP (dt) = 0.03125 (30dias * 0.03125 ~ 1 \longrightarrow 1 integração por dia)

Units for Time = Month



Verificação do Modelo:



1. Considerando os parâmetros utilizado para a sobrevivência infantil e a área disponível, qual é a população de ratos no estado de equilíbrio ? O modelo apresenta este valor ?

2. Como deve ser o comportamento do modelo (população) quando a longevidade diminuir ? **O modelo responde a este fator conforme esperado ?**



3) Como deve ser o comportamento do modelo (população) quando a fertilidade diminuir? **O modelo responde a este parâmetro conforme esperado ?**
O modelo é mais sensível à longevidade ou à fertilidade ?

4) Como deve ser o comportamento do modelo quando a gestação diminui ?
O modelo responde a este fator conforme esperado ?



5) Como deve ser o comportamento do modelo quando a área diminuir ou aumentar ?
O modelo responde a este fator conforme esperado ?

6) Como deve ser o comportamento do modelo quando a população inicial for de 1000 ratos? **O modelo responde conforme esperado** (aumente o FINAL TIME se for necessário)



Ricardo/Katia Sgrillo (www.sgrillo.net)

Interpretação dos resultados

Após estas verificações qual a sua conclusão quanto a validade do modelo ?

Interpretação dos resultados

Crie uma nova variável (pode ser chamada de *nasc-mortes*) que seja a diferença entre os nascimentos e as mortes. Esta variável representa a taxa de crescimento da população.

1. Faça um gráfico tendo como variável independente o tempo (time) e variáveis dependentes a *população* e a *nasc-mortes*. Indique no gráfico a região que corresponde ao feedback positivo do sistema (crescimento exponencial) e a região que corresponde ao feedback negativo (crescimento assintótico).

Interpretação dos resultados

2. Faça um gráfico tendo como variável independente a população e variáveis dependentes a *nasc-mortes* e a *sobrevivência* infantil.

Qual o valor aproximado da população no qual não há mais crescimento? Porque?

Qual o valor aproximado da população no qual a taxa de crescimento é máxima? Este valor corresponde à ocorrência de sobrevivência máxima? Discuta.