

# Teoria do Risco

## Aula 5

Danilo Machado Pires  
[danilo.pires@unifal-mg.edu.br](mailto:danilo.pires@unifal-mg.edu.br)

<https://atuaria.github.io/portahalley/index.html>

DANILO MACHADO PIRES  
LEANDRO FERREIRA  
LEONARDO HENRIQUE COSTA  
REINALDO ANTONIO GOMES MARQUES

**TEORIA DO RISCO ATUARIAL**  
**FUNDAMENTOS E CONCEITOS**



# Teoria da utilidade

- Teoria da utilidade lida com a medida de satisfação relativa.
- ..um valor subjetivo atribuído a um evento, de forma que sua unidade seja uma grandeza com dimensão ordinal.
- Exemplo:

Se atribuir valor 1 ao bem “banana” e valor 2 ao bem “maça”, saberemos que o agente econômica que tem aquela função utilidade prefere maçã a banana.

# Função utilidade

- No que diz respeito a análise de riscos os fundamentos da teoria da utilidade dão um norte a tentativa de responder questões relacionadas ao problema de precificação do seguro.
- ...Fundamentos psicológicos da demanda e oferta de seguros de danos....
- Uma função que mede o valor (utilidade) que um individuo atribui a quantidade  $x$  (monetária).
  - Expressa em "bem-estar" um montante  $x$  de riqueza.

# Função utilidade

- Seja  $X$  o conjunto de todas as alternativas disponíveis ao agente econômico uma função  $\mu : X \rightarrow \mathbb{R}$  é uma função utilidade se atribuir a cada elemento de  $X$  um valor numérico.
- Sendo assim a satisfação que um consumidor (agente de decisão) atribui a um bem de serviço é medida por uma função,  $\mu(x)$ , que faz uma ordenação dos benefícios ...

# Função utilidade

- Existem diversas famílias de funções de utilidades com interessantes aplicações e propriedades como por exemplo:

Utilidade linear:  $\mu(x) = x$

Utilidade quadrática:  $\mu(x) = -(\alpha - x)^2, \quad x \leq \alpha$

Utilidade logarítmica:  $\mu(x) = \ln(\alpha + x), \quad x > -\alpha$

Utilidade exponencial:  $\mu(x) = -\alpha e^{-\alpha x}, \quad \alpha > 0$

Utilidade potencial fracionária:  $\mu(x) = x^c, \quad x > 0, 0 < c \leq 1$

# Função utilidade

➤ ..indivíduos avesso ao risco ( agente conservador).

A perda devida a um “mau” resultado não é “compensada” pelo ganho advindo de um “bom” resultado de mesma magnitude.

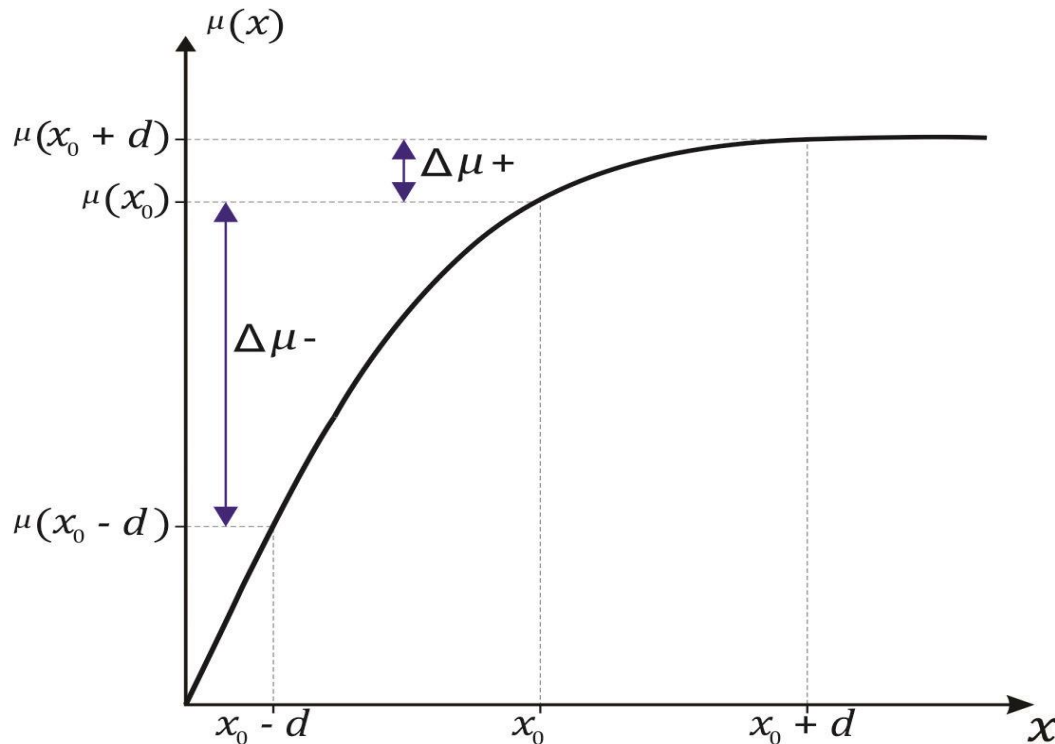
$\mu'(x) > 0$  A utilidade positiva indica que a satisfação aumenta com a riqueza.

$\mu''(x) \leq 0$  Indica a aproximação de ponto de saturação do individuo.

# Função utilidade

➤ ..indivíduos avessos ao risco ( agente conservador).

A perda devida a um "mau" resultado não é "compensada" pelo ganho advindo de um "bom" resultado de mesma magnitude.



$$\mu'(x) > 0$$

$$\mu''(x) < 0$$

# Grau de aversão ao risco

- O grau de aversão ao risco ou coeficiente de aversão ao risco,  $r(x)$ , pode ser definido por:

$$r(x) = -\frac{\mu''(x)}{\mu'(x)}$$

Quanto maior for esse coeficiente, maior será aversão ao risco.



## Exemplo

Considere as seguintes funções de utilidade

$$1) \mu(x) = -(\alpha - x)^2, x \leq \alpha$$

$$2) \mu(x) = \ln(\alpha + x), x > -\alpha$$

$$3) \mu(x) = -\alpha e^{-\alpha x}, \alpha > 0$$

Obtenha o grau de aversão para cada uma dessas funções.

$$1) \mu(x) = -(\alpha - x)^2, x \leq \alpha$$

$$\mu'(x) = 2(\alpha - x) \quad \mu''(x) = -2$$

$$r(x) = -\frac{-2}{2(\alpha - x)} = \frac{1}{\alpha - x}$$

$$2) \mu(x) = \ln(\alpha + x), x > -\alpha$$

$$\mu'(x) = \frac{1}{(\alpha+x)} \quad \mu''(x) = -\frac{1}{(\alpha+x)^2}$$

$$r(x) = -\frac{-\frac{1}{(\alpha+x)^2}}{\frac{1}{(\alpha+x)}} = \frac{1}{\alpha+x}$$

$$3) \mu(x) = -\alpha e^{-\alpha x}, \alpha > 0$$

$$\mu'(x) = \alpha^2 e^{-\alpha x} \quad \mu''(x) = -\alpha^3 e^{-\alpha x}$$

$$r(x) = -\frac{-\alpha^3 e^{-\alpha x}}{\alpha^2 e^{-\alpha x}} = \alpha$$

# Seguro e utilidade

- Seja  $\mu(x)$  como uma função utilidade associada a variável aleatória  $X$ , dessa forma a utilidade esperada para  $X$  é dada por:

$$E[\mu(X)] = \begin{cases} \sum_{i=1}^{\infty} \mu(x_i)P(X = x_i), & \text{para } x \text{ discreta} \\ \int_{-\infty}^{\infty} \mu(x)f(x)dx, & \text{para } x \text{ contínua.} \end{cases}$$

# Seguro e utilidade

- Seja  $\mu(x)$  a função utilidade que **o segurado** associa a cada excedente  $x$ .
- $X$  representa a variável aleatória associada ao risco (severidade).
- $W$  a riqueza inicial do segurado.
- $G$  o prêmio **aceito como bom pelo segurado** devido a sua utilidade.

$$\mu(W - G) = E[\mu(W - X)]$$

## Exemplo 1

Seja um segurado com uma função utilidade potencial fracionária:

$$\mu(x) = \sqrt{x}, \quad x > 0.$$

Onde a ocorrência dos sinistros obedecem a função uma distribuição Uniforme,  $X \sim U_c(0,10)$ . Qual o prêmio  $G$  aceito pelo segurado de modo a não diminuir a sua utilidade, dado a riqueza inicial do segurado de 10,00 *u.m.*

## ■ Solução

Usando  $\mu(W - G) = E[\mu(W - X)]$ , temos que

$$\mu(10 - G) = E[\mu(10 - X)],$$

$$\sqrt{10 - G} = E(\sqrt{10 - X}),$$

$$\sqrt{10 - G} = \int_0^{10} \frac{(\sqrt{10 - x})}{10} dx,$$

$$10\sqrt{10 - G} = \int_0^{10} (\sqrt{10 - x}) dx.$$

$$u = 10 - x \text{ e } du = -dx,$$

$$10\sqrt{10 - G} = - \int_0^{10} (\sqrt{u}) du$$

$$10\sqrt{10 - G} = -\frac{2}{3} u^{\frac{3}{2}} \Big|_{x=0}^{x=10},$$

$$10\sqrt{10 - G} = -\frac{2}{3} (10 - x)^{\frac{3}{2}} \Big|_{x=0}^{x=10},$$

$$10\sqrt{10 - G} = \frac{2}{3} (10)^{\frac{3}{2}},$$

$$10\sqrt{10 - G} = \frac{2}{3} 10\sqrt{10},$$

$$10 - G = \frac{4}{9} 10,$$

$$-G = \frac{4}{9} 10 - 10,$$

$$\mathbf{G = 5,55.}$$

# Seguro e utilidade

- Seja  $\mu(x)$  a função utilidade associada ao **segurador** e  $\Pi$ , o prêmio proposto devido à sua função utilidade. Logo:

$$\mu(W) = E[\mu(W + \Pi - X)]$$

$\mu(W) \rightarrow$  utilidade do montante existente se o segurador não aceitar o seguro  $W$  (riqueza inicial).

$E[\mu(W + \Pi - X)] \rightarrow$  utilidade esperada após aceitar assumir o risco do segurado.

## Exemplo 2

Se um **segurador** tem a função utilidade de riqueza dada por :

$$\mu(x) = 0,004(1 - e^{-0,004x})$$

E a severidade do dano segurável for probabilística regida por uma distribuição exponencial da seguinte forma particular:

$$f(x) = 0,02e^{-0,02x}, x > 0$$

Dado que a riqueza inicial do segurador é de  $W = \text{R\$}20000,00$  qual deverá ser o prêmio cobrado pelo segurador de forma a não diminuir sua utilidade ao aceitar o risco do segurado?



## ■ Solução

$$\mu(W) = E[\mu(W + \Pi - X)],$$

$$0,004(1 - e^{-0,004W}) = E\{0,004[1 - e^{-0,004(W+\Pi-X)}]\},$$

$$0,004(1 - e^{-0,004W}) = 0,004\{1 - E[e^{-0,004(W+\Pi-X)}]\},$$

$$e^{-0,004W} = E[e^{-0,004(W+\Pi-X)}],$$

$$e^{-0,004W} = e^{-0,004W} e^{-0,004\Pi} E(e^{0,004X}),$$

$$E(e^{0,004X}) = e^{0,004\Pi}.$$

## ■ Solução

...

Como  $X \sim \text{Exp}(0,02)$ , e  $M_X(t) = \frac{\lambda}{\lambda - t}$ . É possível perceber que  $E(e^{0,004X}) = M_X(0,004)$ , logo

$$e^{0,004\Pi} = \frac{\lambda}{\lambda - 0,004},$$

$$e^{0,004\Pi} = \frac{0,02}{0,02 - 0,004} = 1,25.$$

Assim

$$\Pi = \frac{\ln(1,25)}{0,004} = \text{R\$}55,78.$$

# Seguro e utilidade

- A literatura apresenta que a situação ideal em que ambas as partes envolvidas no seguro entraram em acordo, será aquela em que :

$$G \geq \Pi \geq E(X)$$

## Exemplo 3

Seja um segurado com uma função de utilidade linear:

$$\mu(x) = 0,00005x - 1$$

em que a ocorrência dos sinistros segue a distribuição Exponencial,  $X \sim \text{Exp}(0,001)$ . Qual o prêmio  $G$  aceito pelo segurado de modo a não diminuir a sua função de utilidade. Considere a riqueza inicial do segurado igual a  $W = \text{R\$}1000,00$ .

O usual é a utilização de funções de utilidade que atendam ao perfil de um agente avesso ao risco.

Solução:

Seja  $a = 0,00005$ ,  $b = -1$  e  $W = 10000$ , assim:

$$\mu(W - G) = E[\mu(W - X)]$$

$$aW - aG + b = E[aW - aX + b]$$

$$G = E(X)$$

Logo

$$G = \frac{1}{0,001} = R\$ 1000,00$$

# Seguro e utilidade

## Exemplo 4.

Suponha um investidor com riqueza  $W$ , cuja utilidade atribuída ao seu patrimônio seja dada por  $\mu(x) = -e^{-0,002x}$ , e este investidor está escolhendo entre dois investimentos que levarão a perdas líquidas aleatórias de  $X_1 \sim N(10^4, 500^2)$  e  $X_2 \sim N(1.1 \times 10^4, 2000^2)$ . Qual destes investimentos tem maior utilidade esperada para o investidor?

$$M_X(t) = e^{\mu t + \frac{1}{2}\sigma^2 t^2}$$

$$E[-e^{-0,002(W-X)}] = -E[e^{-0,002W+0,002X}] = -e^{-W0,002}E[e^{0,002X}]$$

→ Investimento 1

$$= -e^{-W0,002}e^{0,002(10^4) + \frac{500^2(0,002^2)}{2}} = -e^{-w0,002+20,5} = -\frac{e^{20,5}}{e^{w0,002}}$$

→ Investimento 2

$$= -e^{-W0,002}e^{0,002(1.1 \times 10^4) + \frac{2000^2(0,002^2)}{2}} = -e^{-w0,002+30} = -\frac{e^{30}}{e^{w0,002}}$$

- Investir em 1 garante uma utilidade esperada maior que o 2