

Matemática atuarial

AULA 23 - Reservas

Danilo Machado Pires
danilo.pires@unifal-mg.edu.br

Créditos: Leonardo Henrique Costa; leonardo.costa@unifal-mg.edu.br

<https://www.portahalley.org/materiais.html#notas>

➤ Notas de aula da disciplina Matemática Atuarial I, oferecida pelo curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Economia/ciências atuariais da Universidade Federal de Alfenas- Campos varginha.

PIRES,M.D. COSTA, L,H. Reservas. [Notas de aula]. Universidade Federal de Alfenas, Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Economia, Alfenas, 2026. Disponível em <https://www.portahalley.org/materiais.html#notas>. Acessado em: 28 jun. 2026.

Comutação- Seguro de vida

$$A_x = \frac{M_x}{D_x}$$

$$A_{x^{1:\overline{n}|}} = \frac{M_x - M_{x+n}}{D_x}$$

$$A_{x:\overline{n}|}^1 = \frac{D_{x+n}}{D_x}$$

$$A_{x:\overline{n}|} = \frac{M_x - M_{x+n} + D_{x+n}}{D_x}$$

$${}_m|A_x = \frac{M_{x+m}}{D_x}$$

$${}_m|A_{x^{1:\overline{n}|}} = \frac{M_{x+m} - M_{x+m+n}}{D_x}$$

$$(IA)_x = \frac{R_x}{D_x}$$

$$(IA)_{x^{1:\overline{n}|}} = \frac{R_x - R_{x+n} - n \times M_{x+n}}{D_x}$$

Comutação-Anuidades

$$\ddot{a}_x = \frac{N_x}{D_x}$$

$$\ddot{a}_{x:\bar{n}|} = \frac{N_x - N_{x+n}}{D_x}$$

$$a_x = \frac{N_{x+1}}{D_x}$$

$$a_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+1} - N_{x+n+1}}{D_x}$$

$${}_m|\ddot{a}_x = \left(\frac{N_{x+m}}{D_x} \right)$$

$${}_m|\ddot{a}_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+m} - N_{x+m+n}}{D_x}$$

$${}_m|a_x = \left(\frac{N_{x+m+1}}{D_x} \right)$$

$${}_m|a_{x:\bar{n}|} = \frac{N_{x+m+1} - N_{x+m+n+1}}{D_x}$$

$$(I\ddot{a})_x = \frac{S_x}{D_x}$$

$$(I\ddot{a})_{x:\bar{n}|} = \frac{S_x - S_{x+n} - n \times N_{x+n}}{D_x}$$

$$(Ia)_x = \frac{S_{x+1}}{D_x}$$

$$(Ia)_{x:\bar{n}|} = \frac{S_{x+1} - S_{x+n+1} - n \times N_{x+n+1}}{D_x}$$

Planos	Prêmio Puro
Seguro vitalício-prêmios pagos enquanto o segurado estiver vivo.	$P_x = \frac{A_x}{\ddot{a}_x}$
Seguro vitalício-prêmios pagos durante k anos.	${}_kP_x = \frac{A_x}{\ddot{a}_{x:\overline{k} }}$
Seguro temporário-prêmios pagos durante toda cobertura	$P_{x^{1:\overline{n} }} = \frac{A_{x^{1:\overline{n} }}}{\ddot{a}_{x:\overline{n} }}$
Seguro dotal puro- prêmios pagos durante toda a cobertura.	$P_{x:\overline{n} }^1 = \frac{A_{x:\overline{n} }^1}{\ddot{a}_{x:\overline{n} }}$
Seguro dotal misto- prêmios pagos durante toda a cobertura.	$P_{x:\overline{n} } = \frac{A_{x:\overline{n} }}{\ddot{a}_{x:\overline{n} }}$
...	

PRÊMIO PURO PARA O SEGURO DE VIDA PAGO NO MOMENTO DA MORTE DO SEGURADO

Planos	Prêmio puro
Seguro vitalício-prêmios pagos enquanto o segurado estiver vivo	$\bar{P}_x = \frac{\bar{A}_x}{\bar{a}_x}$
Seguro vitalício-prêmios pagos durante k anos.	${}_k\bar{P}_x = \frac{\bar{A}_x}{\bar{a}_{x:\overline{k} }}$
Seguro temporário-prêmios pagos durante toda cobertura	$\bar{P}_{x^{1:\overline{n}} } = \frac{\bar{A}_{x^{1:\overline{n}} }}{\bar{a}_{x:\overline{n}} }$
Seguro dotal puro- prêmios pagos durante toda a cobertura.	$\bar{P}_{x:\overline{n}}^1 = \frac{\bar{A}_{x:\overline{n}}^1}{\bar{a}_{x:\overline{n}}}$
Seguro dotal misto- prêmios pagos durante toda a cobertura.	$\bar{P}_{x:\overline{n}} = \frac{\bar{A}_{x:\overline{n}}}{\bar{a}_{x:\overline{n}}}$
...	

Prêmios Anuidades

Planos	Prêmio puro
Anuidade antecipada vitalícia, com prêmios pagos durante todo período de diferimento.	$P({}_k \ddot{a}_x) = \frac{{}_k \ddot{a}_x}{\ddot{a}_{x:\overline{k} }}$
Anuidade antecipada vitalícia diferida por n anos, com prêmios limitados a k anos. ($k \leq n$)	$P({}_n \ddot{a}_x)_k = \frac{{}_n \ddot{a}_x}{\ddot{a}_{x:\overline{k} }}$
Anuidade antecipada temporária , com prêmios pagos durante todo período de diferimento.	$P({}_k \ddot{a}_{x:\overline{n} }) = \frac{{}_k \ddot{a}_{x:\overline{n} }}{\ddot{a}_{x:\overline{k} }}$
Anuidade antecipada vitalícia fracionada, com prêmios pagos durante todo período de diferimento.	$P({}_k \ddot{a}_x^{(m)}) = \frac{{}_k \ddot{a}_x^{(m)}}{\ddot{a}_{x:\overline{k} }^{(m)}}$
...	

Prêmios Carregados

➤ Dividiremos os Prêmios carregados em:

a) Prêmio de Inventário .

Além do gasto com indenizações, também é incluso as despesas administrativas com o seguro (durante o período de vigência do contrato).

b) Prêmio “Zillmerado” (Zilmer, 1863).

O prêmio Zillmerado considera, além do risco, as despesas iniciais de aquisição do seguro, que são distribuídas ao longo do período de pagamento dos prêmios.

c) Prêmio Comercial ou de tarifa

O prêmio comercial é o prêmio que contempla as duas despesas apontadas anteriormente, ou seja, todas as cargas.

Reservas

- Uma reserva matemática é um fundo formado pelas seguradoras a partir de parte dos prêmios pagos, como garantia de suas operações.
- Valor presente esperado dos benefícios futuros a serem pagos, deduzido do valor presente esperado dos prêmios futuros ainda a serem recebidos.

Reservas

- No ramo de seguros, geralmente os planos são com longos períodos de cobertura.
- Por vezes o que se verifica é que no períodos iniciais ocorre um excedente de prêmios recebidos em relação a benefícios pagos.

Como exemplo considere que uma pessoa de 40 anos de idade deseja fazer um seguro de vida com benefício unitário pago ao final do ano de morte, em que possa pagar os prêmios anualmente durante toda a cobertura do seguro, que é de 5 anos.

Reservas

Assim ao considerar tábua AT-49 e uma taxa de juros $i = 0,05$ ao ano tem-se:

- **Opção 1**

$$P_{40^{1:\overline{5}|}} = \frac{A_{40^{1:\overline{5}|}}}{\ddot{a}_{40^{1:\overline{5}|}}} \approx 0,002395$$

- **Opção 2**

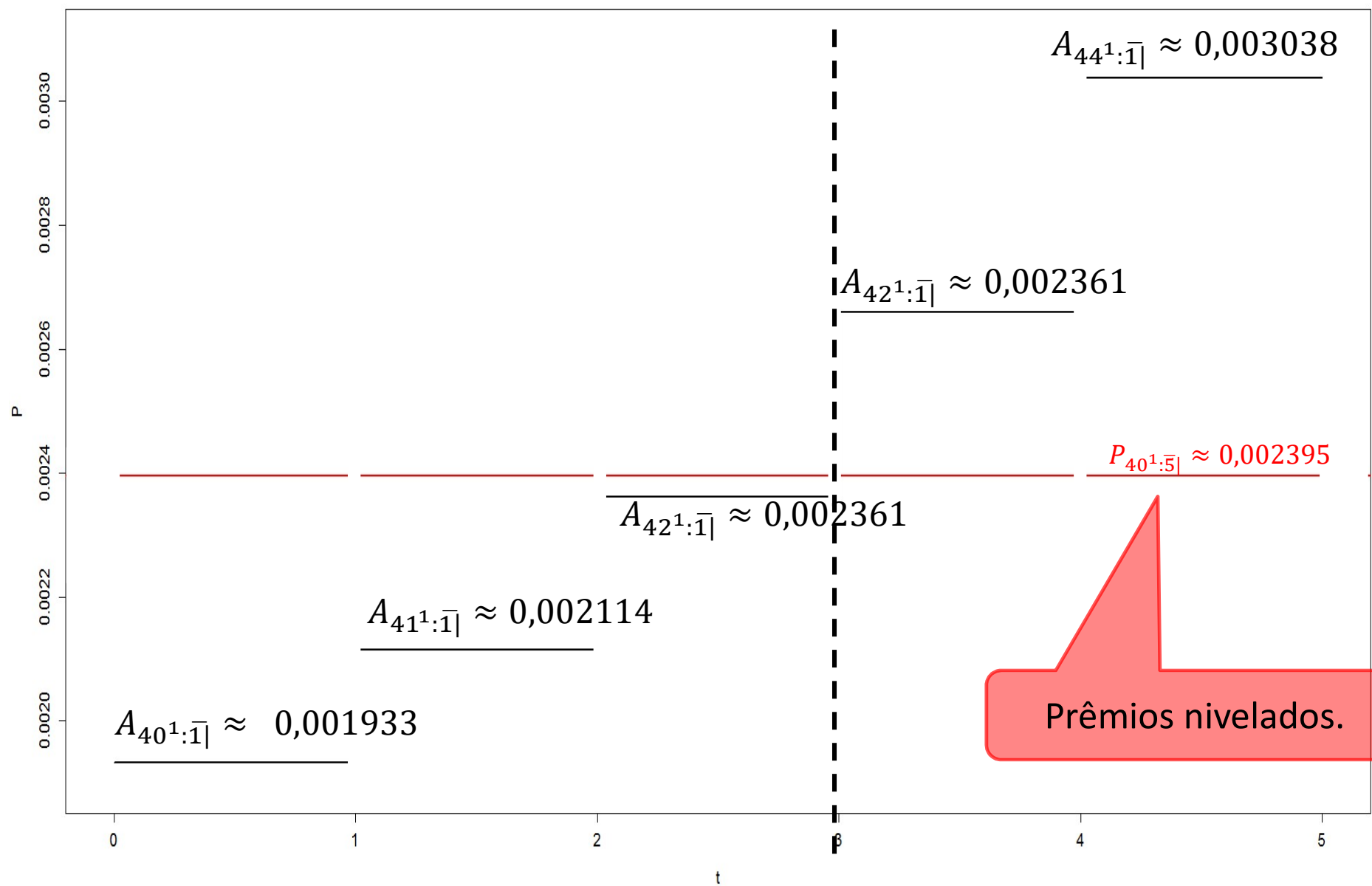
$$A_{40^{1:\overline{1}|}} = v^1 q_{40} \approx 0,001933$$

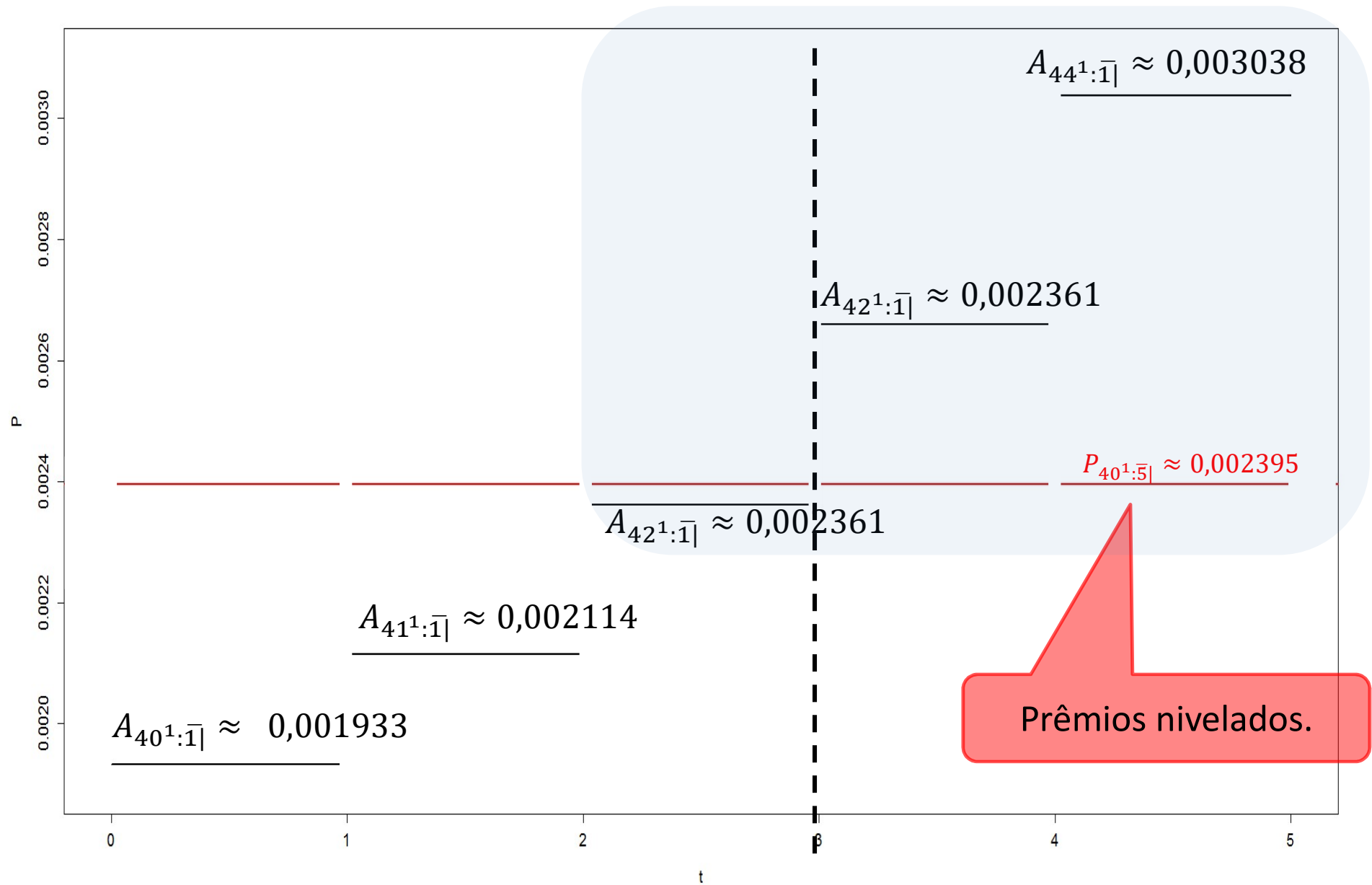
$$A_{41^{1:\overline{1}|}} = v^1 q_{41} \approx 0,002114$$

$$A_{42^{1:\overline{1}|}} = v^1 q_{42} \approx 0,002361$$

$$A_{43^{1:\overline{1}|}} = v^1 q_{43} \approx 0,00266$$

$$A_{44^{1:\overline{1}|}} = v^1 q_{44} \approx 0,003038$$





Reservas

- Nos contratos com prêmios nivelados, os prêmios pagos nos primeiros anos excedem a obrigação imediata da seguradora.
- Esse excedente constitui a reserva, necessária para garantir os pagamentos futuros, quando os prêmios forem insuficientes.

Reservas

Resp. Segurado	Resp. Segurador	Equilíbrio na obrigação líquida do segurador
$P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{40:\bar{5} }) = A_{40^1:\bar{5} }$	$\Rightarrow$	$A_{40^1:\bar{5} } - P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{40:\bar{5} }) = 0$
	$\downarrow 1 \text{ ano}$	$P_{40^1:\bar{5} } = \frac{A_{40^1:\bar{5} }}{\ddot{a}_{40:\bar{5} }} \approx 0,002395$
$P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{41:\bar{4} }) = A_{41^1:\bar{4} }$	$\Rightarrow$	$A_{41^1:\bar{4} } - P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{41:\bar{4} }) - 0,000485 = 0$
	$\downarrow 2 \text{ ano}$	$P_{41^1:\bar{4} } = \frac{A_{41^1:\bar{4} }}{\ddot{a}_{41:\bar{4} }} \approx 0,002525$
$P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{42:\bar{3} }) = A_{42^1:\bar{3} }$	$\Rightarrow$	$A_{42^1:\bar{3} } - P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{42:\bar{3} }) - 0,000806 = 0$
	$\downarrow 3 \text{ ano}$	$P_{42^1:\bar{3} } = \frac{A_{42^1:\bar{3} }}{\ddot{a}_{42:\bar{3} }} \approx 0,002677$
$P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{43:\bar{2} }) = A_{43^1:\bar{2} }$	$\Rightarrow$	$A_{43^1:\bar{2} } - P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{43:\bar{2} }) - 0,000883 = 0$
	$\downarrow 4 \text{ ano}$	$P_{43^1:\bar{2} } = \frac{A_{43^1:\bar{2} }}{\ddot{a}_{43:\bar{2} }} \approx 0,002847$
$P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{44:\bar{1} }) = A_{44^1:\bar{1} }$	$\Rightarrow$	$A_{44^1:\bar{1} } - P_{40^1:\bar{5} }(\ddot{a}_{44:\bar{1} }) - 0,000643 = 0$
		$P_{44^1:\bar{1} } = \frac{A_{44^1:\bar{1} }}{\ddot{a}_{44:\bar{1} }} \approx 0,003038$

Reservas

Reserva num determinado momento, é a diferença entre o valor atuarial das responsabilidades futuras da seguradora e o valor das responsabilidades futuras do segurado, a partir desse momento.

$$Rm_t = Rb_t - Rp_t$$

Rm_t : Reserva média ao tempo t .

Rb_t : O valor atuarial do compromisso da seguradora no instante t .

Rp_t : O valor atuarial do compromisso com os prêmios, vindos do segurado.

Reservas

Ao considerar o produto atuarial referente a uma pessoa de idade x cujo tempo de vida adicional é T_x .

$$Rm(T_x) = Rb(T_x) - Rp(T_x)$$

$Rb(T)$: variável aleatória valor presente dos benefícios futuros.

$Rp(T)$: variável aleatória valor presente dos prêmios futuros.

Reservas de prêmios puros (método prospectivo)

Seguro vitalício

O método de reservas prospectivo consiste ao valor esperado de $Rm(T_x)$, levando em conta os compromissos futuros.

$$Rm(T) = v^{T+1} - P_x \ddot{a}_{\overline{T+1}|}$$

$$T > x + t.$$

$$E[Rm(T)] = {}_tV_x = A_{x+t} - P_x \ddot{a}_{x+t}$$

P_x : ao prêmio periódico anual $P_x = \frac{A_x}{\ddot{a}_x}$.

EXEMPLO 1: Qual a reserva (pura) que deve ser formada depois de 2 anos de um seguro de vida vitalício comprado por um indivíduo com idade 40 de idade? Considere $b = 1$, $i = 5\%$ ao ano e a tábua de vida AT-2000 feminina.

Solução

$${}_2V_{40} = A_{42} - P_{40}\ddot{a}_{42}.$$

Logo

$${}_2V_{40} \approx 0,01375.$$

Reservas de prêmios puros (método prospectivo)

A Reserva pelo método prospectivo é calculada a partir de compromissos futuros da seguradora e do segurado.

$${}_tV_x = A_{x+t} - P_x \ddot{a}_{x+t}$$

$${}_tV_{x^{1:\bar{n}}|} = \begin{cases} A_{x+t^{1:\bar{n}-t}|} - P_{x^{1:\bar{n}}|} \ddot{a}_{x+t^{1:\bar{n}-t}|}, & t < n \\ 0, & t = n \end{cases}$$

$${}_tV_{x:\bar{n}}^1 = \begin{cases} A_{x+t:\bar{n}-t|}^1 - P_{x:\bar{n}}^1 \ddot{a}_{x+t:\bar{n}-t|}, & t < n \\ 1, & t = n \end{cases}$$

Reservas de prêmios puros (método prospectivo)

A Reserva pelo método prospectivo é calculada a partir de compromissos futuros da seguradora e do segurado.

...

$${}_tV_{x:\bar{n}|} = \begin{cases} A_{x+t:\bar{n}-t|} - P_{x:\bar{n}|} \ddot{a}_{x+t:\bar{n}-t|}, & t < n \\ 1, & t = n \end{cases}$$

$${}_t^kV_x = \begin{cases} A_{x+t} - {}_kP_x \ddot{a}_{x+t:\overline{k-t}|}, & t < k \\ A_{x+t}, & t \geq k \end{cases}$$

EXEMPLO 2: Considere um seguro temporário por 40 anos, para um segurado de 30 anos, qual seria a evolução da reserva com o tempo? Considere $i = 3\%$ e AT-49.

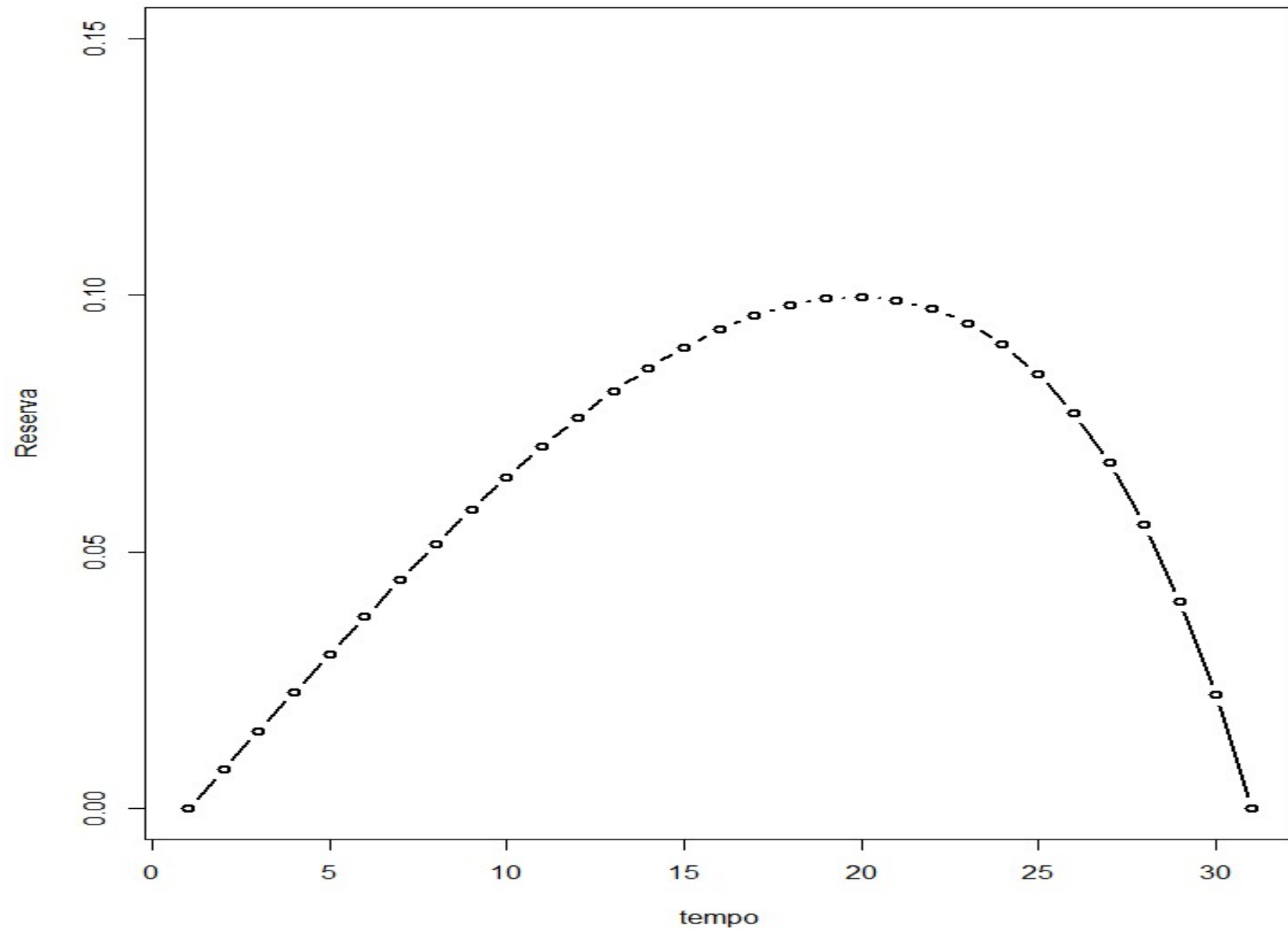
SOLUÇÃO

$${}_tV_{40^1:\overline{30}|} = A_{40+t^1:\overline{30-t}|} - P_{40^1:\overline{30}|} \ddot{a}_{40+t:\overline{30-t}|}$$

$${}_tV_{40^1:\overline{30}|} = \frac{(M_{40+t} - M_{70}) - P_{40^1:\overline{30}|}(N_{40+t} - N_{70})}{D_{40+t}}$$

Universidade Federal de Alfenas

EXEMPLO 2



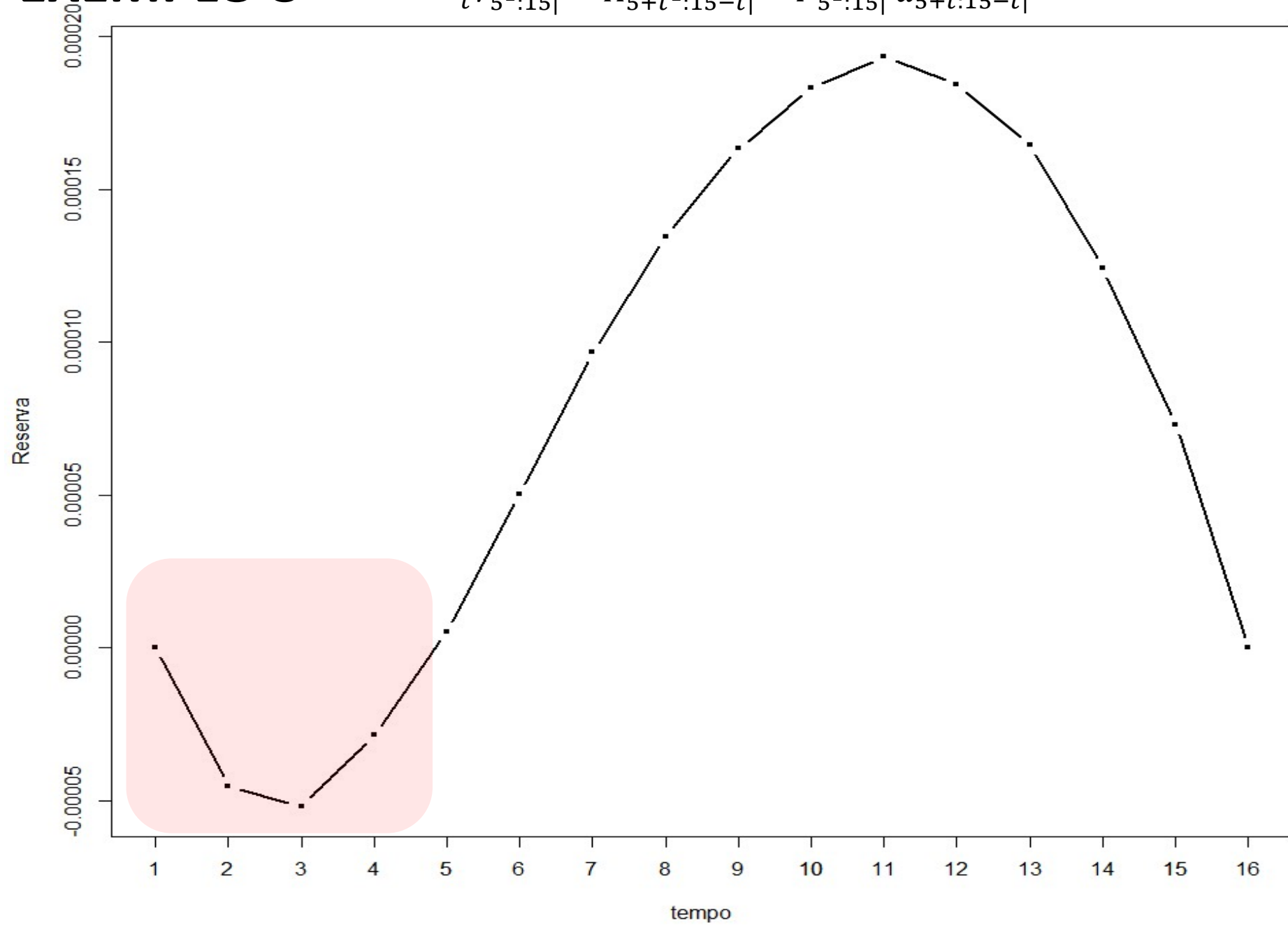
EXEMPLO 3: Considere um seguro temporário por 15 anos, para um segurado de 5 anos, qual seria a evolução da reserva com o tempo? Considere $i = 3\%$ e AT-49.

SOLUÇÃO



EXEMPLO 3

$${}_tV_{5^1:\overline{15}|} = A_{5+t^1:\overline{15-t}|} - P_{5^1:\overline{15}|} \ddot{a}_{5+t:\overline{15-t}|}$$



EXEMPLO 4: Qual o valor das reservas formadas depois de 5, 10 e 15 anos, de um seguro de vida vitalício? Considere que $x = 40$, $i = 3\%$, $b = 1$, tábua AT-49 e que os prêmios sejam pagos em 11 parcelas iguais.

SOLUÇÃO

$${}_{11}P_{40} = \frac{A_{40}}{\ddot{a}_{40:\overline{11}|}} \approx 0,03974$$

EXEMPLO 4: Qual o valor das reservas formadas depois de 5, 10 e 15 anos, de um seguro de vida vitalício? Considere que $x = 40$, $i = 3\%$, $b = 1$, tábua AT-49 e que os prêmios sejam pagos em 11 parcelas iguais.

SOLUÇÃO

$${}_{11}P_{40} = \frac{A_{40}}{\ddot{a}_{40:\overline{11}|}} \approx 0,03974$$

$${}_{\textcolor{red}{5}}^{11}V_{40} = A_{45} - {}_{11}P_{40}(\ddot{a}_{45:\overline{6}|}) \approx 0,2056$$

$$\textcolor{red}{10}^{11}V_{40} = A_{50} - {}_{11}P_{40}(\ddot{a}_{50:\overline{1}|}) \approx 0,4953$$

$$\textcolor{red}{15}^{11}V_{40} = A_{55} \approx 0,5350$$

Reservas de prêmios puros (método prospectivo)

T_x contínuo

A Reserva pelo método prospectivo é calculada a partir de compromissos futuros da seguradora e do segurado.

$${}_m\bar{V}_x = \bar{A}_{x+m} - \bar{P}_x \bar{a}_{x+m}$$

$${}_m\bar{V}_{x^{1:\bar{n}}|} = \begin{cases} \bar{A}_{x+m^{1:\bar{n}-m}|} - \bar{P}_n \bar{a}_{x+m:\bar{n}-m|}, & m < n \\ 0, & m = n \end{cases}$$

$${}_m\bar{V}_{x:\bar{n}} = \begin{cases} \bar{A}_{x+m:\bar{n}-m|} - \bar{P}_{x:\bar{n}} \bar{a}_{x+m:\bar{n}-m|}, & m < n \\ 1, & m = n \end{cases}$$

EXEMPLO 5 Passados 2 anos de vigência do contrato, qual será a reserva ${}_2\bar{V}_{40}$ que a seguradora deverá ter formado? Considere $\delta = 0,06$ ao ano e que $T_0 \sim U_C(0,120)$.

SOLUÇÃO

$${}_2\bar{V}_{40} = \bar{A}_{42} - \bar{P}_{40} \bar{a}_{42}$$

$${}_tp_{42} = \frac{P(T > t+42)}{P(T > 42)} = \frac{\int_{t+42}^{120} \frac{1}{120} dt}{\int_{42}^{120} \frac{1}{120} dt} = \frac{\frac{120-42-t}{120}}{\frac{120-42}{120}} = \frac{78-t}{78}$$
$${}_tq_{42} = 1 - \frac{78-t}{78} = \frac{t}{78}$$

Considerando que $\frac{\partial F_{T_x}(t)}{\partial t} = f_{T_x}(t)$, assim:

$$f_{T_{42}}(t) = \frac{\partial F_{T_{42}}(t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{t}{78} \right) = \frac{1}{78}$$

Logo

$$\mu(42+t) = \frac{f_{T_{42}}(t)}{1 - F_{T_{42}}(t)} = \frac{\frac{1}{78}}{\frac{78-t}{78}} = \frac{1}{78-t}$$

$$\bar{A}_{42} = \int_0^{78} e^{-0,06t} {}_tp_{42} \mu(42+t) dt$$

$$\bar{a}_{42} = \int_0^{78} e^{-0,06t} {}_tp_{42} dt$$

SOLUÇÃO

$${}_2\bar{V}_{40} = \bar{A}_{42} - \bar{P}_{40}\bar{a}_{42}$$

$$\bar{A}_{42} = \int_0^{78} e^{-0,06t} {}_tp_{42}\mu(42+t)dt = \int_0^{78} e^{-0,06t} \left(\frac{1}{78}\right) dt \approx 0,211693$$

$$\bar{a}_{42} = \int_0^{78} e^{-0,06t} {}_tp_{42}dt = \int_0^{78} e^{-0,06t} \left(\frac{78-t}{78}\right) dt = \int_0^{78} \frac{(1-e^{-0,06t})}{0,06} \left(\frac{1}{78}\right) dt \approx 13,1385$$

$${}_2\bar{V}_{40} = 0,211693 - \bar{P}_{40}13,1385$$

SOLUÇÃO

$${}_2\bar{V}_{40} = 0,211693 - \bar{P}_{40} 13,1385$$

$$\bar{A}_{40} = \int_0^{80} e^{-0,06t} \left(\frac{80-t}{80} \right) \frac{1}{80-t} dt = \int_0^{80} e^{-0,06t} \frac{1}{80} dt \approx 0,206619$$

$$\bar{a}_{40} = \int_0^{80} e^{-0,06t} \left(\frac{80-t}{80} \right) dt = \int_0^{80} e^{-0,06t} \left(\frac{80-t}{80} \right) dt = \int_0^{80} \frac{(1-e^{-0,06t})}{0,06} \left(\frac{1}{80} \right) dt \approx 13,223$$

$${}_2\bar{V}_{40} = 0,211693 - \left(\frac{0,206619}{13,223} \right) 13,1385 \approx 0,006394374$$

Unitas
Universidade Federal de Alfenas

SOLUÇÃO

$${}_2\bar{V}_{40} = 0,211693 - \left(\frac{0,206619}{13,223} \right) 13,1385 \approx 0,006394374$$

$$\bar{A}_x + \delta \bar{a}_x = 1$$

$$\bar{A}_{40} = \int_0^{80} e^{-0,06t} \frac{1}{80} dt \approx 0,206619$$

$$\bar{a}_{40} = \frac{1 - 0,206619}{0,06} \approx 13,22302$$

$$\bar{A}_{42} = \int_0^{78} e^{-0,06t} \left(\frac{1}{78} \right) dt \approx 0,211693$$

$$\bar{a}_{42} = \frac{1 - 0,211693}{0,06} \approx 13,3185$$

Reservas de prêmios puros (método prospectivo)

...

$${}_tV({}_m|\ddot{a}_x) = \begin{cases} {}_{m-t}|\ddot{a}_{x+t} - P({}_m|\ddot{a}_x){}_{x+t:\overline{m-t}|}, & t < m \\ \ddot{a}_{x+t}, & t \geq m \end{cases}$$

$${}_tV({}_m|\ddot{a}_{x:\overline{n}|}) = \begin{cases} {}_{m-t}|\ddot{a}_{x+t:\overline{n}|} - P({}_m|\ddot{a}_{x:\overline{n}|}){}_{x+t:\overline{m-t}|}, & t < m \\ \ddot{a}_{x+t:\overline{n+m-t}|}, & m \leq t < m + n \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Universidade Federal de Alfenas

EXEMPLO 6: Qual reserva deve ser formada após 30 e 50 anos de uma anuidade vitalícia (antecipada) contratada por uma pessoa de 30 anos de idade que decida aposentar aos 70 anos? Considere que $b = 1$, tábua de vida AT-49 e a taxa de juros de 3% ao ano.

SOLUÇÃO:

EXEMPLO 6: Qual reserva deve ser formada após 30 e 50 anos de uma anuidade vitalícia (antecipada) contratada por uma pessoa de 30 anos de idade que decida aposentar aos 70 anos? Considere que $b = 1$, tábua de vida AT-49 e a taxa de juros de 3% ao ano.

SOLUÇÃO:

$${}_{30}V({}_{40|}\ddot{a}_{30}) = {}_{10|}\ddot{a}_{60} - P({}_{40|}\ddot{a}_{30})\ddot{a}_{60:\overline{10}|}$$

$${}_{30}V({}_{40|}\ddot{a}_{30}) = \frac{N_{70}}{D_{60}} - \left(\frac{N_{70}}{N_{30} - N_{70}} \right) \frac{N_{60} - N_{70}}{D_{60}}$$

$${}_{50}V({}_{40|}\ddot{a}_{30}) = \ddot{a}_{80} = \frac{N_{80}}{D_{80}}$$

EXEMPLO 7: Suponha que uma pessoa de 20 anos deseje receber por 30 anos um benefício igual a 1 (anuidade antecipada), para isso ele irá pagar um prêmio periódico fixo por 20 anos. Considerando a taxa de juros de 3% ao ano, a tabua AT-49 qual deverá ser a reserva formada para esse produto após (a contar a partir do contrato) 10 anos e 21 anos?

EXEMPLO 7: Suponha que uma pessoa de 20 anos deseje receber por **30 anos** um benefício igual a 1 (anuidade antecipada), para isso ele irá pagar um prêmio periódico fixo por 20 anos. Considerando a taxa de juros de 3% ao ano, a tabua AT-49 qual deverá ser a reserva formada para esse produto após (a contar a partir do contrato) 10 anos e 21 anos?

$${}_{10}V({}_{20|\ddot{a}}_{20:\overline{30}|}) = {}_{10|\ddot{a}}_{30:\overline{30}|} - P({}_{20|\ddot{a}}_{20:\overline{30}|})\ddot{a}_{30:\overline{10}|}$$

$${}_{10}V({}_{20|\ddot{a}}_{20:\overline{30}|}) = \frac{N_{40} - N_{70}}{D_{30}} - \left(\frac{N_{40} - N_{70}}{N_{20} - N_{40}} \right) \frac{N_{30} - N_{40}}{D_{30}} \approx \mathbf{7,884}$$

$${}_{21}V({}_{20|\ddot{a}}_{20:\overline{30}|}) = \ddot{a}_{41:\overline{29}|} = \frac{N_{41} - N_{70}}{D_{41}} \approx \mathbf{18,2263}$$

Reservas de prêmios puros (método retrospectivo)

A reserva pelo método retrospectivo é calculada a partir dos compromissos passados da seguradora.

➤ Para exemplificar, considere

$$P_x = \frac{A_x}{\ddot{a}_x}$$

Reservas de prêmios puros (método retrospectivo)

$$P_x = \frac{A_x}{\ddot{a}_x} = \frac{A_{x^{1:\bar{t}}|} + {}_t|A_x}{\ddot{a}_{x:\bar{t}}| + {}_t|\ddot{a}_x}$$

$$P_x = \frac{A_{x^{1:\bar{t}}|} + v^t {}_t p_x A_{x+t}}{\ddot{a}_{x:\bar{t}}| + v^t {}_t p_x \ddot{a}_{x+t}}$$

$$0 = (A_{x^{1:\bar{t}}|} + v^t {}_t p_x A_{x+t}) - P_x (\ddot{a}_{x:\bar{t}}| + v^t {}_t p_x \ddot{a}_{x+t})$$

$$0 = A_{x^{1:\bar{t}}|} - P_x \ddot{a}_{x:\bar{t}}| + v^t {}_t p_x (A_{x+t} - P_x \ddot{a}_{x+t})$$

Como ${}_t V_x = A_{x+t} - P_x \ddot{a}_{x+t}$, então

$$0 = A_{x^{1:\bar{t}}|} - P_x \ddot{a}_{x:\bar{t}}| + v^t {}_t p_x ({}_t V_x),$$

Logo

$${}_t V_x = \frac{P_x \ddot{a}_{x:\bar{t}}| - A_{x^{1:\bar{t}}|}}{A_{x:\bar{t}}|^{-1}}$$

EXEMPLO 8: Qual a reserva (pura) que deve ser formada depois de 2 anos de um seguro de vida vitalício comprado por um indivíduo com idade 40 de idade? Considere $b = 1$, $i = 5\%$ ao ano e a tábua de vida AT-2000 feminina.

EXEMPLO 8: A reserva pelo método retrospectivo

$${}_2V_{40} = \frac{P_{40} \ddot{a}_{40:\overline{2}|} - A_{40^{1:\overline{2}|}}}{A_{40:\overline{2}|^1}},$$

$${}_2V_{40} = \frac{0,007053 (1,951736) - 0,001308}{0,905752} \approx 0,01375.$$

Reservas de prêmios puros (método retrospectivo)

$${}_tV_x = \frac{P_x \ddot{a}_{x:\bar{t}|} - A_{x^1:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|}^1}$$

$${}_tV_{x^1:\bar{n}|} = \frac{P_{x^1:\bar{n}|} \ddot{a}_{x:\bar{t}|} - A_{x^1:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|}^1}$$

$${}_tV_{x:\bar{n}|} = \frac{P_{x:\bar{n}|} \ddot{a}_{x:\bar{t}|} - A_{x^1:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|}^1}$$

Reservas de prêmios puros (método retrospectivo)

$${}_tV({}_m|\ddot{a}_x) = \begin{cases} \frac{P({}_m|\ddot{a}_x)\ddot{a}_{x:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|^1}}, & t < m \\ \frac{P({}_m|\ddot{a}_x)\ddot{a}_{x:\bar{m}|} - {}_m|\ddot{a}_{x:\bar{t-m}|}}{A_{x:\bar{t}|^1}}, & t \geq m \end{cases}$$

$${}_tV({}_m|\ddot{a}_{x:\bar{n}|}) = \begin{cases} \frac{P({}_m|\ddot{a}_{x:\bar{n}|})\ddot{a}_{x:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|^1}}, & t < m \\ \frac{P({}_m|\ddot{a}_{x:\bar{n}|})\ddot{a}_{x:\bar{m}|} - {}_m|\ddot{a}_{x:\bar{t-m}|}}{A_{x:\bar{t}|^1}}, & m \leq t < m + n \end{cases}$$

DEMONSTRAÇÃO

$${}_m| \ddot{a}_x - P({}_m| \ddot{a}_x) \ddot{a}_{x:\overline{m}|} = 0$$

$$v^m {}_m p_x \ddot{a}_{x+m} - P({}_m| \ddot{a}_x) (\ddot{a}_{x:\bar{t}|} + {}_t| \ddot{a}_{x:\overline{m-t}|}) = 0$$

$$v^t {}_t p_x (v^{m-t} {}_{m-t} p_{x+t}) \ddot{a}_{x+m} - P({}_m| \ddot{a}_x) (\ddot{a}_{x:\bar{t}|} + {}_t| \ddot{a}_{x:\overline{m-t}|}) = 0$$

$$v^t {}_t p_x {}_{m-t}| \ddot{a}_{x+t} - P({}_m| \ddot{a}_x) {}_t| \ddot{a}_{x:\overline{m-t}|} = \ddot{a}_{x:\bar{t}|} P({}_m| \ddot{a}_x)$$

$$v^t {}_t p_x {}_{m-t}| \ddot{a}_{x+t} - P({}_m| \ddot{a}_x) v^t {}_t p_x \ddot{a}_{x+t:\overline{m-t}|} = \ddot{a}_{x:\bar{t}|} P({}_m| \ddot{a}_x)$$

$$v^t {}_t p_x ({}_{m-t}| \ddot{a}_{x+t} - P({}_m| \ddot{a}_x) \ddot{a}_{x+t:\overline{m-t}|}) = \ddot{a}_{x:\bar{t}|} P({}_m| \ddot{a}_x)$$

$$v^t {}_t p_x ({}_t V({}_m| \ddot{a}_x)) = \ddot{a}_{x:\bar{t}|} P({}_m| \ddot{a}_x)$$

$${}_t V({}_m| \ddot{a}_x) = \frac{P({}_m| \ddot{a}_x) \ddot{a}_{x:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|}^1}$$

EXEMPLO 9: Suponha que uma pessoa de 20 anos deseje receber por 30 anos um benefício igual a 1 (anuidade antecipada), para isso ele irá pagar um prêmio periódico fixo por 20 anos. Considerando a taxa de juros de 3% ao ano, a tabua AT-49 qual deverá ser a reserva formada para esse produto após (a contar a partir do contrato) 10 anos?

$${}_{10}V({}_{20|\ddot{a}}_{20:\overline{30}|}) = \frac{P({}_{20|\ddot{a}}_{20:\overline{30}|})\ddot{a}_{20:\overline{10}|}}{A_{20:\overline{10}|^1}}$$

$${}_{10}V({}_{20|\ddot{a}}_{20:\overline{30}|}) = \frac{\left(\frac{N_{40} - N_{70}}{N_{20} - N_{40}}\right)\left(\frac{N_{20} - N_{30}}{D_{20}}\right)}{\left(\frac{D_{30}}{D_{20}}\right)} \approx \left(\frac{N_{40} - N_{70}}{N_{20} - N_{40}}\right)\left(\frac{N_{20} - N_{30}}{D_{30}}\right) \approx \mathbf{7,884}$$

Reservas de prêmios puros

Embora em condições ideais os dois métodos deem o mesmo valor, eles respondem a perguntas diferentes

- O método retrospectivo olha para o passado:

Quanto foi acumulado até agora a partir do que entrou e saiu?

- O método prospectivo olha para o futuro:

Quanto preciso ter agora para cobrir o que ainda falta?

Reservas de prêmios puros

Os métodos são iguais quando usamos as mesmas hipóteses atuariais do início do contrato, como:

- mesma tábua de mortalidade;
- mesma taxa de juros;
- mesmo prêmio calculado pelo princípio de equivalência;
- mesmas despesas previstas;
- contrato sem alterações;

Resultados importantes

$${}_tV_x = \frac{P\ddot{a}_{x:t} - A_{x^1:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|}^1} = \frac{P\ddot{a}_{x:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|}^1} - \frac{A_{x^1:\bar{t}|}}{A_{x:\bar{t}|}^1}$$

P é o prêmio periódico de uma modalidade qualquer.

Considerando $t = n$.

$${}_nV_x = \frac{P\ddot{a}_{x:\bar{n}|}}{A_{x:\bar{n}|}^1} - \frac{A_{x^1:\bar{n}|}}{A_{x:\bar{n}|}^1}$$

Resultados importantes

$${}_nV_x = \frac{P\ddot{a}_{x:\overline{n}|}}{A_{x:\overline{n}|^1}} - \frac{A_{x^1:\overline{n}|}}{A_{x:\overline{n}|^1}}$$

Anuidades “tontineira” (tontine).

O benefício pago no tempo n depende da acumulação financeira e da probabilidade de sobrevivência até esse prazo.

$$\frac{P\ddot{a}_{x:\overline{n}|}}{v^n {}_np_x}$$

Custo acumulado do seguro.

Valor de um seguro temporário financiado pelos sobreviventes desse período.

$$\frac{A_{x^1:\overline{n}|}}{v^n {}_np_x}$$

Resultados importantes

- A anuidades “tontineira” foi concebida para pagar benefícios a sobreviventes da seguinte forma:
- Em uma operação tontineira, os prêmios pagos pelos participantes são acumulados com juros e distribuídos entre os sobreviventes ao final do período. Se P é o prêmio anual antecipado pago durante n anos, o benefício pago no tempo n ao sobrevivente é dado por:

$${}_n\ddot{S}_x = \frac{P\ddot{a}_{x:\overline{n}|}}{A_{x:\overline{n}|}^1}$$

Resultados importantes

A anuidade **tontineira** é o valor acumulado dos prêmios sujeitos a juros e sobrevivência.

As anuidades tontineiras distribuía o excedente entre os sobreviventes, o que gerou preocupações éticas e legais. Por esse motivo, esse modelo foi descontinuado em diversas jurisdições.

- **Portal Halley** : <https://atuaria.github.io/portalhalley/>
- Bowers et al. **Actuarial Mathematics**, 2ª edição. SOA, 1997.
- D. C. M. Dickson, M. R. Hardy and H. R. Waters. **Actuarial Mathematics for Life Contingent Risks**. Cambridge University Press, 2019.
- CORDEIRO FILHO, Antônio. **Cálculo Atuarial Aplicado: teoria e aplicações, exercícios resolvidos e propostos**. São Paulo: Atlas, 2009.
- PIRES, M.D.; COSTA, L.H.; FERREIRA, L.; MARQUES, R. **Fundamentos da matemática atuarial: vida e pensões**. Curitiba :CRV, 2022.
- GARCIA, J. A.; SIMÕES, O. A. **Matemática actuarial – Vida e pensões**. 2. ed. Coimbra: Almedina, 2010.

