

Análise Econômica de Projetos Aplicada à Eficiência Energética

Prof. André L. V. Gimenes
gimenes@gmail.com

Métodos de Avaliação de Projetos de Conservação de Energia

Alguns métodos de análise:

- **Método do Tempo de Retorno Simples (Payback Simples)**
- **Método do Tempo de Retorno Descontado (Payback descontado)**
- **Método do Valor Presente Líquido (VPL)**
- **Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)**
- **Custo da Energia Economizada (CEE)**

Conceitos Iniciais

Conceitos Iniciais

Taxas de Juros – exponenciais

Difíceis de tratar com o senso comum

Exemplo: em um ano qual a diferença entre taxas de 4, 5 e 6% am? E em 2 anos?

Inflação – desconsiderada nas análises de investimentos

Considerações sobre Futuro - incertezas

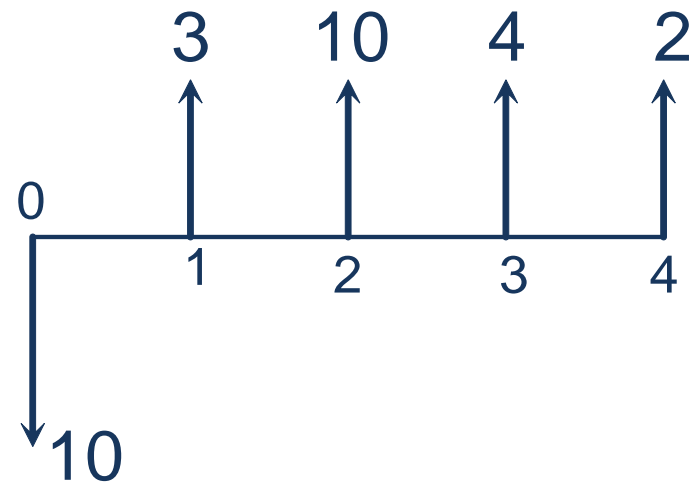
Diagrama de Fluxo de Capitais

- Eixo horizontal para representar os períodos de capitalização
- Setas para cima ou para baixo representando o fluxo de caixa

Exemplo:

Investimento: \$ 10,00

Retorno: \$ 3,00 - 1º ano
 \$ 10,00 - 2º ano
 \$ 4,00 - 3º ano
 \$ 2,00 - 4º ano



Valores Presente e Futuro

- **Exemplo 1:** Investimento inicial de R\$1.000,00

Valor Presente = VP = R\$1.000,00

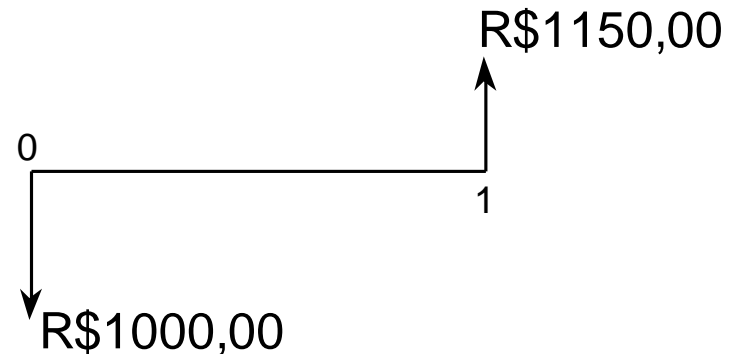
- Ao final de um mês tem-se R\$1.150,00

Valor Futuro = VF = R\$1.150,00

Juro: R\$ 150,00

Taxa de Juros = $i = \frac{R\$1150,00}{R\$1000,00} - 1 = 1,15 - 1 = 0,15$ ou 15%

$$i = \frac{V_F}{V_P} - 1$$



Valores Presente e Futuro

Exemplo 2 - Foram aplicados \$1.000,00 durante 3 meses seguidos num fundo de investimento que apresentou as seguintes taxas de juros mensais 2% ; 2,2% e 2%.

Qual o valor da taxa de juros total durante 3 meses?

$$\frac{V_F}{V_P} = (1 + 0.02).(1 + 0.022).(1 + 0.02) = 1,06329$$

$$i_{total} = \frac{V_F}{V_P} - 1 = 1,06329 - 1 = 6,329\%$$

Operações Financeiras no Regime de Juros Compostos

Cálculo da taxa de juros com mais de uma capitalização

$$\frac{V_F}{V_P} = (1 + i_1) \cdot (1 + i_2) \cdot \dots \cdot (1 + i_j) \cdot \dots \cdot (1 + i_n)$$

Operações Financeiras no Regime de Juros Compostos

Para mesma taxa de juros:

V_P - valor presente ou capital inicial;

V_F - valor futuro ou capital final;

i - taxa de juros;

n - número de capitalizações.

$$V_F = V_P (1 + i)^n$$

$$\frac{V_F}{(1 + i)^n} = V_P$$

Operações Financeiras no Regime de Juros Compostos

Exemplo:

Comprei um carro por 20.000 e vendo daqui a 1 ano por 20.000. Quanto eu perdi?

Operações Financeiras no Regime de Juros Compostos

Exemplo:

Um incinerador de lixo de 1000t/dia custa 50.000.000 e opera a um custo de 50/t.

Um incinerador de lixo de 500t/dia custa 30.000.000 e opera a um custo de 55/t.

A demanda ao longo de 10 anos é de:

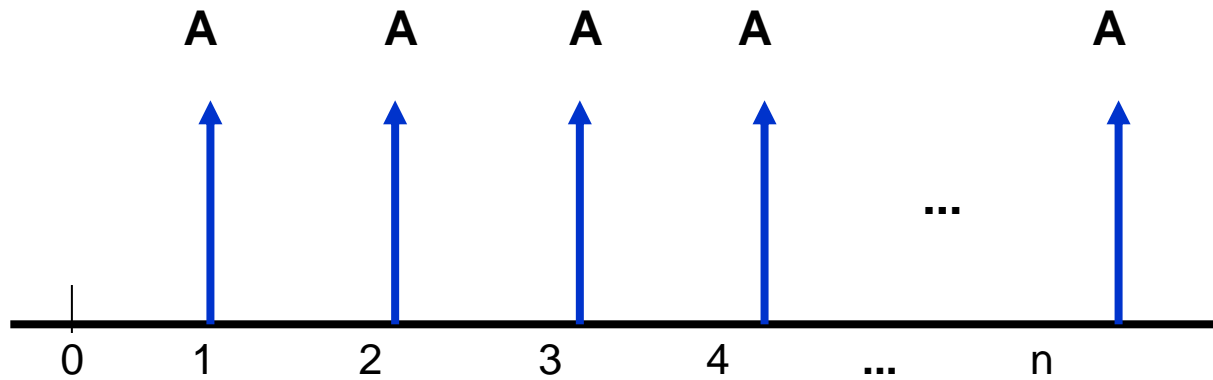
anos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t/dia	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1.000

- I) Comprar de início um incinerador de 1000t/dia
- II) Comprar o de 500t/dia e em seguida outro de 500t/dia

Qual das duas alternativas é mais econômica? (12%aa)
E se a taxa for de 18% aa?

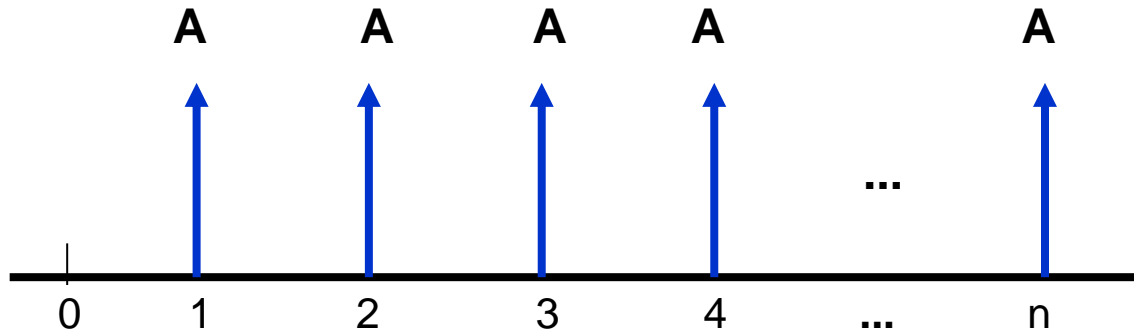
Valor Presente p/ um Fluxo Constante

Suponha o seguinte fluxo de caixa:



$$V_P = \frac{A}{(1+i)^1} + \frac{A}{(1+i)^2} + \dots + \frac{A}{(1+i)^n} = A \cdot \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} = A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

Valor Presente p/ um Fluxo Constante



Fator de Recuperação de Capitais

$$FRC(i, n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$A = FRC(i, n) \cdot V_P$$

Operações Financeiras no Regime de Juros Compostos

Exemplo:

Quero vender um carro por 30.000 em 12 prestações. A taxa de juros é 2% am. De quanto deve ser a prestação?

Método do Tempo de Retorno Simples - Payback Simples – PBS

Payback Simples – PBS

Mede o prazo de recuperação do capital investido, ou seja, o PBS (*período de payback ou de retorno*).

- Só serve para descartar alternativas não viáveis

Exemplo 6 – ENGARRAFADORA DE REFRIGERANTES

$I = \$ 2.000.000,00$ - compra e instalação de novos equipamentos e a realização de modificações nas instalações existentes.

$B =$ Renda de $\$ 650.000,00$ por ano durante 5 anos de duração do projeto.

Critério da empresa: Prazo de recuperação total do investimento < 4 anos.

Payback Simples – PBS

Exemplo 6 – ENGARRAFADORA DE REFRIGERANTES

Período (anos)	Capitais (\$)	Acumulado (\$)
0	- \$ 2.000.000,00	-\$ 2.000.000,00
1	\$ 650.000,00	-\$ 1.350.000,00
2	\$ 650.000,00	-\$ 700.000,00
3	\$ 650.000,00	-\$ 50.000,00
4	\$ 650.000,00	\$ 600.000,00
5	\$ 650.000,00	\$ 1.250.000,00

$$PBS = 3,08$$

Método do Tempo de Retorno Descontado

- Payback Descontado – PBD

Payback Descontado – PBD

Mede o valor do prazo de recuperação do capital investido, incluindo seus custos ao longo do tempo de análise do projeto de investimento.

Payback Descontado – PBD

Exemplo 7 – Repetir o Exemplo 6, taxa de juro é igual a 12% ao ano.

Payback Descontado – PBD

Período (ano)	Capitais (\$)	Valor Presente (\$)	Acumulado (t=0) (\$)
0	-2.000.000,00	-2.000.000,00	-2.000.000,00
1	650.000,00	580.357,14	-1.419.642,86
2	650.000,00	518.176,02	-901.466,84
3	650.000,00	462.657,16	-438.809,68
4	650.000,00	413.086,75	-25.722,92
5	650.000,00	368.827,46	343.104,53

$$PBD = 4,081$$

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontando todos os capitais do fluxos de caixa na taxa de juro i

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Exemplo 8 – A Tabela a seguir registra o fluxo de caixa anual após os impostos de um investimento. Se o custo de capital é 20% ao ano, verificar se este projeto deve ser aceito aplicando o método do VPL.

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Períodos (anos)	Capitais (\$)
0	-1.000,00
1	250,00
2	300,00
3	350,00
4	400,00
5	550,00
	<hr/>
	1.850,00
	-1.000,00
	<hr/>
	+ 850,00

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Solução:

$$\begin{aligned} VPL = & -1.000,00 + \frac{250,00}{(1+0,20)^1} + \frac{300,00}{(1+0,20)^2} + \\ & + \frac{350,00}{(1+0,20)^3} + \frac{400,00}{(1+0,20)^4} + \frac{550,00}{(1+0,20)^5} = +\$33,15 \end{aligned}$$

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Quando temos ganhos constantes:

$$VPL = -C_{iv} + \sum_{t=1}^T \frac{Ganho^t}{(1+i)^t}$$

Onde:

C_{iv} - Custo do investimento;

$Ganho^j$ - Ganho constante.

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Nestes casos podemos utilizar o FRC:

$$VPL = -C_{iv} + \sum_{t=1}^T \frac{Ganho^t}{(1+i)^t} = -C_{iv} + Ganho \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+i)^t}$$

$$VPL = -C_{iv} + \frac{Ganho}{FRC(i, T)}$$

$$FRC(i, n) = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Método do Valor Presente Líquido - VPL

	Opção I	Opção II
1	R\$ 20.000,00	R\$ 10.000,00
2		R\$ 2.500,00
3		R\$ 2.500,00
4		R\$ 2.500,00
5		R\$ 2.500,00
6		R\$ 2.500,00
7	R\$ 11.000,00	R\$ 2.500,00
8		R\$ 2.500,00
9		R\$ 2.500,00
10		R\$ 2.500,00
11		R\$ 2.500,00
12		R\$ 2.500,00
13	R\$ 11.000,00	R\$ 2.500,00
14		R\$ 2.500,00
15		R\$ 2.500,00
16		R\$ 2.500,00
17		R\$ 2.500,00
18		R\$ 2.500,00
19	R\$ 11.000,00	R\$ 2.500,00
SOMA	R\$ 53.000,00	R\$ 55.000,00

Exemplo: empréstimo 50.000 à uma taxa de 6% aa. Posso receber segundo as opções I e II. Qual dá o melhor retorno?

Método da Taxa Interna de Retorno - TIR

Método da Taxa Interna de Retorno - TIR

Compara todas as entradas e saídas de dinheiro na data inicial do projeto, descontado todos os capitais do fluxo de caixa na TIR, verificando-se:

$$VPL = 0 = -I + \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

Método da Taxa Interna de Retorno - TIR

EXEMPLO 8 - Fluxo de Caixa de um Investimento

Período (ano)	Capitais (\$)
0	-2.500.000,00
1	350.000,00
2	450.000,00
3	500.000,00
4	750.000,00
5	750.000,00
6	800.000,00
7	1.000.000,00

Método da Taxa Interna de Retorno - TIR

Método computacional irá resolver a seguinte equação:

$$\begin{aligned} & -2.500.000 + \frac{350.000}{(1+TIR)^1} + \frac{450.000}{(1+TIR)^2} + \frac{500.000}{(1+TIR)^3} + \frac{750.000}{(1+TIR)^4} + \\ & + \frac{750.000}{(1+TIR)^5} + \frac{800.000}{(1+TIR)^6} + \frac{1.000.000}{(1+TIR)^7} = 0 \end{aligned}$$

$$TIR = i \Big|_{VPL=0} \sim 15\%$$

Qual o significado deste número??

Observações

- Equipamento novo/substituição: custos de manutenção e operação crescentes, perda de qualidade no serviço prestado, padrões de competitividade ;
- Para que a análise faça sentido deve-se comparar alternativas que produzam o *mesmo serviço*
- As análises sem consideração da taxa de juros servem **somente** para **eliminar** alternativas
- As análises efetuadas estimando-se taxas de juros futuras devem ser vistas com cuidado

Eficiência Energética

- **Geralmente custos em períodos bem conhecidos;**
- **Na maior parte das análises: ganhos constantes;**
- **Custo da energia é crescente no tempo, geralmente acima da inflação;**
- **Modelar a diferença entre projetos novos e de substituição: lembrar que projetos de eficiência não dão ganhos diretos e sim redução de custos.**
- **Têm o desempenho muito afetado pelas horas de utilização do sistema**

Eficiência Energética – Novos Projetos

A comparação de alternativas para novos projetos deve-se dar com base no levantamento dos custos totais de investimentos nos sistemas e demais gastos operacionais com energia e manutenção, optando-se pelo de menor custo;

Eficiência Energética – substituição de sistemas existentes

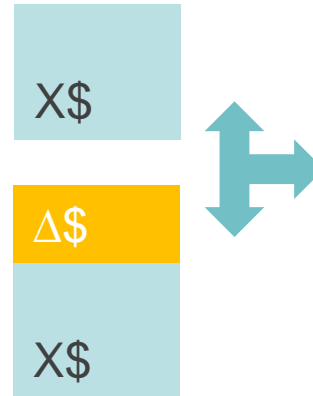
Antes do final da vida útil:

- A análise de viabilidade para substituição de sistemas existentes pode ser feita com base no investimento para troca do sistema pelo mais eficiente e considerando-se redução de gastos operacionais com energia como sendo um benefício positivo do investimento
- Quando o sistema antigo ainda tiver valor de mercado, este entra como benefício adicional no momento da venda;

Quando o sistema antigo estiver no final da vida útil o problema volta a ser de comparação entre 2 novos sistemas;

Novos x Existentes

Nova instalação



Vale a pena pagar a diferença a mais ($\Delta\$$) pela redução de consumo/demanda?

Instalação Existente



Vale a pena pagar todo o sistema eficiente ($X\$ + \Delta\$$) pela redução de consumo/demanda?

Custos Considerados

Investimento;

- Instalação: ferramentas, peças;
- Mão-de-obra (instalação e operação);
- Energia: demanda e consumo de energia;
- Custos de manutenção;
- Impostos;
- Transporte de equipamentos;
- Capital.

$$C_t = C_{iv} + C_{en} + C_{mo} + C_{ip}$$

Onde:

C_t - *Custo total, é o custo final do investimento;*

C_{iv} - *Custo de investimento;*

C_{en} - *Custo de energia;*

C_{mo} - *Custos de mão-de-obra;*

C_{ip} - *Custos com impostos*

Custos de Compra de Energia Elétrica

- Compra de energia elétrica: contrato com o concessionário local:
- Contratação de demanda: ponta e fora de ponta (\$/kW)
- Contratação de energia: valor pago pela energia fornecida (\$/MWh).
- Tarifas Horo-Sazonais (Sazonalidade): Verde e Azul.
 - Período Seco (maio a novembro)
 - Período Úmido (dezembro a abril)

$$C_{en} = C_{con}^{ps} + C_{con}^{pu} + C_{dem}^{ps} + C_{dem}^{pu}$$

Consumo de Energia Ativa

$$C_{con} = T_{con}^{fp} \cdot E_{fp} + T_{con}^{po} \cdot E_{po}$$

Onde:

- Tarifa de consumo de energia no período fora de ponta, [\$/MWh.mês];
- Tarifa de consumo de energia no período de ponta, [\$/MWh.mês];
- Energia consumida no período fora de ponta, [MWh];
- Energia consumida no período de ponta, [MWh].

Demanda de Energia Ativa

$$C_{dem} = T_{dem}^{fp} \cdot D_{fp} + T_{dem}^{po} \cdot D_{po}$$

Onde:

- Tarifa mensal de demanda no período fora de ponta, [\$/kW];
- Tarifa mensal de demanda no período de ponta, [\$/kW];
- Demanda contratada no período fora de ponta, [kW];
- Demanda Contratada no período de ponta, [kW].

Aplicações dos métodos à Eficiência Energética

Payback Simples – PBS

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos de substituição** antes do final da vida útil

Onde:

$$PBS = \frac{C_{iv}}{CE_{eco}}$$

$$CE_{eco} = C_{en,cv} - C_{en,ef}$$

Notação:

cv - convencional

ef- eficiente

C_{iv} - Custo do investimento para substituir a tecnologia convencional pela tecnologia eficiente;

CE_{eco} - Custo da energia economizada por período tarifário. Considera-se aqui que a energia economizada é constante durante cada intervalo do período de análise;

Payback Descontado – PBD

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos de substituição** antes do final da vida útil

$$PBD = \frac{C_{iv}}{\sum_{j=1}^N \frac{CE_{eco}^j}{(1+i)^j}}$$

Onde:

- C_{iv} - Custo do investimento para substituir a tecnologia convencional pela tecnologia eficiente;
- CE_{eco}^j - Custo da energia economizada para cada período.

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos de substituição** antes do final da vida útil

$$VPL = -C_{iv} + \sum_{t=1}^T \frac{CE_{eco}^t}{(1+i)^t}$$

Onde:

- C_{iv} - Custo do investimento para substituir a tecnologia convencional pela tecnologia eficiente;
- CE_{eco}^j - Custo da energia economizada para cada período.

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos de substituição** antes do final da vida útil

Quando o custo da energia economizada por período tarifário for constante e igual a CE_{eco} , temos:

$$VPL = -C_{iv} + \sum_{t=1}^T \frac{CE_{eco}^t}{(1+i)^t} = -C_{iv} + CE_{eco} \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+i)^t}$$

$$VPL = -C_{iv} + \frac{CE_{eco}}{FRC(i, T)}$$

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos novos**

$$VPL = -C_{iv} + \sum_{t=1}^T \frac{CE^t}{(1+i)^t}$$

Onde:

- C_{iv} - Custo do investimento adicional para adquirir a tecnologia eficiente;
- CE^j - Custo da energia gasta para cada período.

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos novos**

Quando o custo da energia gasta por período tarifário for constante e igual a CE , temos:

$$VPL = -C_{iv} + \sum_{t=1}^T \frac{CE^t}{(1+i)^t} = -C_{iv} + CE_{eco} \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+i)^t}$$

$$VPL = -C_{iv} + \frac{CE}{FRC(i, T)}$$

Método do Valor Presente Líquido - VPL

Exemplo 9 – A Tabela a seguir registra o fluxo de caixa referente ao investimento e economia de energia em um equipamento eficiente. Se o custo de capital é 12% ao ano, verificar se este projeto deve ser aceito aplicando o método do VPL. Vale a pena investir neste equipamento?

Períodos (anos)	Capitais (\$)	Períodos (anos)	Capitais (\$)
0	-1.000,00	3	250,00
1	250,00	4	250,00
2	250,00	5	250,00

Método do Valor Presente Líquido - VPL

$$VPL = -C_{iv} + \frac{CE_{eco}}{FRC(i, T)}$$

$$FRC(0,12 : 5) = \frac{0,12 \times (1 + 0,12)^5}{(1 + 0,12)^5 - 1} = 0,277$$

$$VPL = -1.000,00 + \frac{250,00}{0,277} = -97$$

Custo da Energia Economizada - CEE

Método do Custo da Energia Economizada - CEE

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos novos**

- Aplicado para investimentos em conservação de energia.
Dados: taxa de desconto e vida útil do investimento.

$$CEE = FRC(i, n) \cdot \left(\frac{C_{iv,ef} - C_{iv,cv}}{E_{cons,cv} - E_{cons,ef}} \right) [R\$ / kWh]$$

Relação entre o investimento a mais desembolsado para a aquisição da tecnologia eficiente em comparação c/ a tecnologia convencional e a diferença do consumo anualizado de energia entre as tecnologias eficiente e convencional.

CEE deve ser comparado com o custo anual da energia, se for < OK.

Método do Custo da Energia Economizada - CEE

Para o caso de Eficiência Energética em **projetos de substituição**

- Aplicado para investimentos em conservação de energia.
Dados: taxa de desconto e vida útil do investimento.

$$CEE = FRC(i, n) \cdot \left(\frac{C_{iv,ef}}{E_{cons,cv} - E_{cons,ef}} \right) [R\$ / kWh]$$

Relação entre o investimento a mais desembolsado para a aquisição da tecnologia eficiente em comparação c/ a tecnologia convencional e a diferença do consumo anualizado de energia entre as tecnologias eficiente e convencional.

CEE deve ser comparado com o custo anual da energia, se for < OK.

Incerteza

- No caso de projetos de eficiência energética há um grau de incerteza associado aos valores de energia e demanda medidos pelo processo de M&V
- Neste caso, deve-se fazer uma análise de sensibilidade para a figura de mérito escolhida em função do nível de precisão das medidas.

Por exemplo: Economia de energia:

$$EE = 100 \pm 10\% [MWh / ano]$$

Uma maneira de simular esta incerteza é:

$$EE = 90 + 10\% x Va [MWh / ano]$$

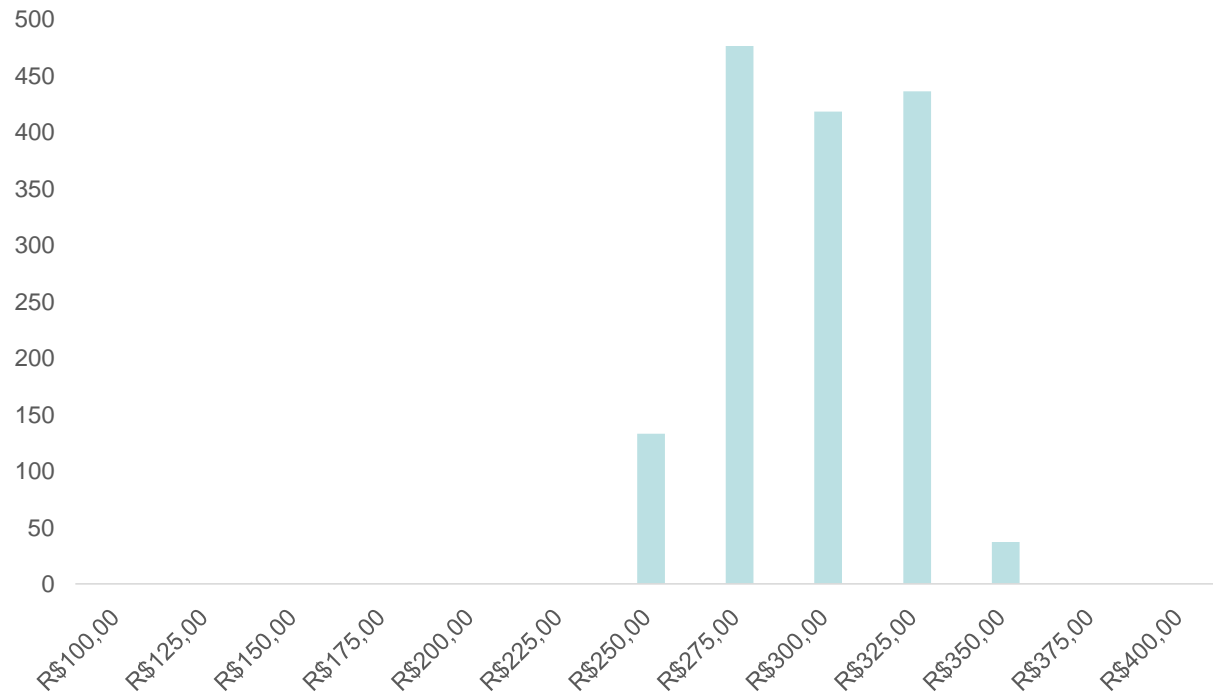
Onde Va é uma variável aleatória de 0 a 1 (excel)

Planilham-se milhares de possibilidades e verifica-se a frequência de resultados para a figura de mérito adotada

Incerteza

- Geram-se aleatoriamente valores possíveis para VPL, TIR, CEE etc. em função da variação aleatória possível na economia de Energia e/ou Demanda.
- A frequência de valores indicará a probabilidade do investimento ser rentável ou não.

Valores VPL para 1500 possibilidades de economia



Bibliografia

Ehrlich, P. J.; Moraes, E. A.; **“Engenharia Econômica – Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento”**. Ed. Atlas, 6ª edição, 2011.