

# Proposta de uso de beta-indicadores para uma maior eficiência na tomada de decisão

**Manuel Meireles** (FACCAMP) profmeireles@uol.com.br  
**Edson Yamamoto** (UNIFESP) yamamoto.edson@terra.com.br  
**Rogério Marques** (Tancredo Neves) roge.marques@terra.com.br  
**Márcio Marietto** mlmarietto@uol.com.br

## Resumo

Este trabalho busca construir um sentimento de evidência de que um sistema de informações com beta-indicadores fundamenta as decisões de forma mais eficiente. Partindo-se do pressuposto que se é mais eficiente quando se produz o mesmo resultado com menos recursos (tempo, mão de obra, recursos materiais); e considerando-se ainda que informação sobre algo que não exige tomada de decisão – e conseqüentemente ação – é não-informação, é recurso não-necessário à tomada de decisão; pode-se concluir que o sistema de  $\beta$ -indicadores, na medida em que remove a não-informação promove uma maior eficiência na tomada de decisão. Foi usado o método de simulação para avaliar a acurácia do modelo proposto. Os resultados das simulações realizadas foram satisfatórios. As simulações buscaram aferir se a especificação do  $\beta$ -indicador de acordo com o modelo proposto captava os sinais oriundos de uma  $\beta$ -distribuição na proporção esperada. Os testes basicamente consideraram os limites de alerta de 10 e de 20% e a mediana (50%). A conclusão é de que o modelo de  $\beta$ -indicadores proposto é adequadamente preciso pois os valores observados à esquerda ou à direita dos limites de alerta não diferem significativamente dos valores esperados, ao nível de significância de 0,05.

**Palavras-chave:** Indicadores, Beta-indicadores, Sistemas de apoio à decisão

## 1. Introdução

Com base nos resultados da presente pesquisa acredita-se que é possível construir um sentimento de evidência de que o uso de  $\beta$ -indicadores, na medida em que se opera apenas com informação relevante, deixando de lado a não-informação, torna a tomada de decisão mais eficiente.

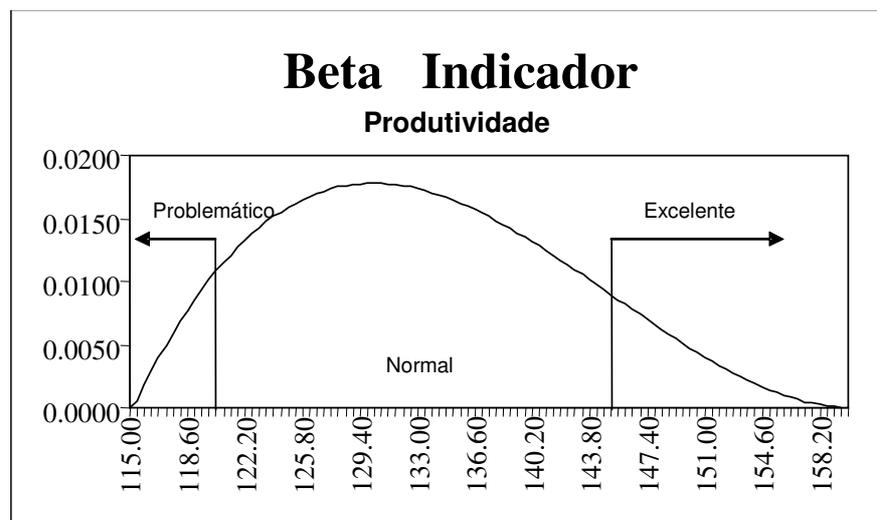


Fig. 1: Conceito de  $\beta$ -indicador.

O  $\beta$ -indicador, como mostra a figura 1, é um indicador orientado que contém faixas de desempenho: normal, problemático e excelente. Tais faixas são decorrentes da média e

respectiva variância da variável associada ao  $\beta$ -indicador, considerando-se que os valores seguem uma  $\beta$ -distribuição (ou distribuição probabilística do tipo  $\beta$ ). Tal distribuição é considerada partindo-se do pressuposto que, para qualquer tipo de variável (monetária \$, qualidade Q, tempo t) é possível associar valores esperados ou de desempenho: otimista, mais-provável e pessimista. Quando se dispõe, para uma dada variável V, de valores: otimista/pessimista, mais-provável e pessimista/otimista (valores: **a**, **m** e **b**) pode-se determinar o valor médio ponderado da variável adotando a fórmula sugerida por Boiteux (1985:96):

$$V_M = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (1.01)$$

A variância para uma curva do tipo  $\beta$ , tipo de curva admitido para variáveis às quais se pode associar valores maior (**b**) e menor (**a**), segundo Hirschfeld (1970:120) é dada por:

$$s^2 = \left( \frac{b - a}{6} \right)^2 \quad (1.02)$$

Desta forma é possível estabelecer adequadamente as regiões normal e não-normal de um  $\beta$ -indicador, considerando uma determinada probabilidade de ocorrência. Observar que o  $\beta$ -indicador constante da figura 1 é orientado na medida em que informa o sentido no qual a ação deve ser operada. Além disso os  $\beta$ -indicadores possuem em si a essência do que é *informação relevante*: é toda aquela que está fora do intervalo considerado como de ocorrência *normal* – e tal informação relevante se destaca por indicar algo problemático ou excelente. A informação relevante é, desta forma, aquela constituída pelos indicadores que apontam para condições não-normais que *requerem* que alguma ação seja tomada.

O pano de fundo, subjacente à pesquisa, está ligado ao paradigma da lógica e da coerência como elementos necessários para fundamentar uma boa decisão em qualquer campo, incluindo aquelas inerentes ao escopo da Administração de Produção. O problema da pesquisa não abarca as múltiplas formas de decisão nas organizações, tampouco a forma como as decisões são tomadas, mas tão somente a estrutura e as características dos indicadores que servem, ou podem servir para fundamentar ou justificar a tomada de decisão (indicadores designados de  $\beta$ -indicadores) e o tipo de informação selecionada para possibilitar a tomada de decisão (informação designada de relevante). O que está sob foco, na presente pesquisa, é a forma como os indicadores selecionados são usados para fundamentar decisões de forma mais eficiente.

A questão da informação relevante está intimamente associada à necessidade de se combater a *poluição da informação*, uma situação que John Naisbitt *apud* Wurman (1995) criticou com ênfase: “Hoje produzimos informação em massa exatamente como costumávamos produzir automóveis em massa”. Simmel (1958), sociólogo, foi o primeiro a reconhecer o conceito de *sobrecarga de informação* e os efeitos dessa sobrecarga: “as pessoas se escudam da sugestibilidade indiscriminada, para se proteger de sua sobrecarga de sensações, da qual resulta incapacidade para reagir a novas situações com a energia adequada”. Esta é a tônica da proposta contida no presente trabalho: o uso de  $\beta$ -indicadores capazes de fornecerem informação relevante (que requer ação), deixando de lado a não-informação, oferecendo ao decisor mais significado e menos fatos, de forma que ele possa tomar e implementar decisões com a energia adequada.

De alguma forma o tipo de indicador proposto neste trabalho pode reduzir significativamente o volume da informação que se apresenta para análise, permitindo uma maior eficiência do sistema de decisão, por duas vias: (1) a informação produzida pelo sistema é a relevante (*output*) é escoimada da não-informação; e (2) a informação produzida

pelo sistema, na medida em que destaca apenas o que é relevante, é mais significativa, crítica e em volume menor, possibilitando foco nos problemas.

A proposta aqui descrita fundamenta-se, desta forma, em  $\beta$ -indicadores referentes predominantemente a um conjunto de variáveis que possam mostrar o objeto de forma *panótica*, considerando três grandes grupos de variáveis: monetárias (\$), de conformidade (Q) e de tempo (t). Adota-se aqui a perspectiva de que a conformidade constitui-se de um amplo espectro de variáveis, entre elas a qualidade (Hill,1993:80). Neste sentido, o grau com que se atende aos cinco objetivos de desempenho (qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo) pode ser entendido como sendo expressão de uma determinada conformidade.

Embora se agrupem sob as três vertentes ou perspectivas (\$, Q, t), os indicadores panóticos podem cobrir todos os aspectos relevantes do objeto. Os  $\beta$ -indicadores constituem suas regiões de “normalidade” e de “não-normalidade” partindo da distribuição probabilística do tipo  $\beta$  da variável considerada.

Com base em tal premissa é possível estabelecer, por exemplo, metas de custo, conformidade e tempo médias associadas às respectivas variâncias. Esta é a contribuição mais importante dos  $\beta$ -indicadores: não só especificam as metas mas, também, a sua variabilidade o que possibilita a determinação das regiões problemáticas e excelentes.

Belchior (1974:196) mostra que quando se dispõe de três estimativas (otimista/pessimista, mais provável e pessimista/otimista – representadas por **a**, **m** e **b**) se tem uma distribuição associada a uma distribuição  $\beta$  com as seguintes propriedades: possui extremos bem definidos, não sendo assintótica aos eixos; pode ser assimétrica para ambos os lados, conforme os valores **a**, **b** e **m**; e permite a determinação dos parâmetros da distribuição conhecendo-se a moda (mais provável **m**) e os extremos inferior e superior (**a** e **b**).

Quando os valores atribuídos a **a**, **m** e **b** são próximos, a curva toma um aspecto estreitado, ao contrário do que acontece quando os valores são afastados, caso em que a curva se torna alargada, embora em ambos os casos a média possa ter o mesmo valor.

A função  $\beta$  com base nas estimativas **a**, **m** e **b** permite determinar o valor médio esperado ( $V_M$ ), o respectivo desvio padrão ( $s$ ) a variância ( $s^2$ ) e o coeficiente de variação (CV). A utilização de três estimativas (**a**, **m** e **b**) é muito comum nos estudos envolvendo redes PERT/CPM e muitos autores declaram que a função segue a  $\beta$  distribuição: Irving (2000) num estudo sobre PERT com tempos estimados probabilisticamente, afirma que quando os tempos das atividades não são conhecidos com precisão podem ser utilizados tempos estimados. Para cada atividade definem-se os tempos otimista, pessimista e mais provável e se parte da premissa que a variabilidade dos tempos estimados segue a distribuição  $\beta$ . Walker II (2001) afirma que assume-se que as atividades PERT/CPM seguem uma  $\beta$  distribuição. Anderson et alli (2003) afirmam que as simulações da duração das atividades individuais de projetos (PERT) são feitas geralmente usando a  $\beta$  distribuição. Fente et alli (1999) afirmam que na maioria das aplicações de simulação para construção, a Função de Distribuição de Probabilidade subjacente (PDF) é geralmente desconhecida, e, por conseguinte, se terá que selecionar uma PDF. Tal escolha muitas vezes é feita por análise de sensibilidade, havendo o efeito da informação subjetiva na escolha dos parâmetros da distribuição  $\beta$  a ser usada nos modelos de simulação.

Deming chama a atenção para a questão da variabilidade: na medida em que os *inputs* de um processo referentes à mão-de-obra, matéria prima, máquinas, medidas, meio-ambiente (mesmo considerando o método constante) não são constantes, não faz sentido esperar um *output* constante. Desta forma parece razoável supor que quaisquer metas de um processo, tanto *output* quanto *input* sejam mais realistas quando consideram a inevitável variabilidade.

## 2. Propriedades e limitações do modelo proposto

O modelo de  $\beta$ -indicador proposto neste trabalho é um modelo baseado na  $\beta$ -distribuição. Este modelo possui algumas propriedades e limitações que são aqui apontadas. O

modelo considera que os valores **a**, **m** e **b** são dispostos de tal forma que **a** represente o menor valor; **b** o maior valor e **m** um valor intermediário entre **a** e **b**; ao valor **m**, o mais esperado é também considerado como valor modal; a média ponderada (*MedPond*) de tais valores é dada por:

$$MedPond = \frac{4 * m + a + b}{6} \quad (1.03)$$

Considerando-se **b-a** como a diferença total, é possível localizar tanto a moda **m** quanto a *MedPond* entre tais pontos, dando-se a estes valores a designação de normalizados. Desta forma a *média ponderada normalizada* (MPN) é dada por:

$$MPN = \frac{MedPond - a}{b - a} \quad (1.04)$$

De forma semelhante se calcula a *moda normalizada* (ModN):

$$ModN = \frac{m - a}{b - a} \quad (1.05)$$

Bury (1975:353) explica tais fórmulas do seguinte modo: o valor esperado e a variância de um tempo de conclusão (numa rede PERT) podem ser difíceis de calcular diretamente para uma determinada atividade. Desta forma, estimativas mais significantes são oferecidas, tais como o tempo *mais provável* **m**, o tempo *otimista* **a** e o tempo *pessimista* **b**. Estes valores são equivalentes à moda  $\hat{h}$  e aos parâmetros  $\mu_1$  e  $\mu_2$ , respectivamente. Bury conclui a demonstração da seguinte forma: De

$$\hat{h} = \mu_1 + (\mu_2 - \mu_1) \frac{\lambda_1 - 1}{\lambda_1 + \lambda_2 + 2} \quad (1.06)$$

deriva-se o valor esperado  $\mu_1'(\mathfrak{X})$  em termos da moda  $\hat{h}$ :

$$\mu_1'(\mathfrak{X}) = \frac{\mu_1 + (\lambda_1 + \lambda_2 - 2) + \mu_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (1.07)$$

Por razões de conveniência de cálculo, na rede PERT, a equação (1,07) é aproximada para:

$$\hat{h}_E = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (1.08)$$

implicando que a moda estimada **m** é ponderada em relação a **(a+b)/2** na proporção de 2:1. De forma semelhante, a variância

$$\mu_2(\mathfrak{X}) = \frac{(\mu_2 - \mu_1)^2 \lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 + \lambda_2)^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + 1)} \quad (1.09)$$

é aproximadamente calculada por

$$\text{var}(\mathfrak{X}) = \frac{(b - a)^2}{36} \quad (1.10)$$

pelo que o desvio padrão de  $(\mathfrak{X})$  é  $(b-a)/6$ .

Na prática, afirma Bury, a rede PERT, nas expressões (1.08) e (1.10) obtém valores que são adequados em relação às estimativas de  $\mathbf{m}$ ,  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{b}$ . Deve ser notado que na aproximação da equação (1.07) pela (1.08) que  $\lambda_1 + \lambda_2 = 6$  e que na aproximação da equação (1.09) pela (1.10), que  $\lambda_1 \lambda_2 = 7$ . Com efeito:

$$\mu_1'(\mathfrak{X}) = \frac{\mu_1 + (\lambda_1 + \lambda_2 - 2) + \mu_2}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{a + (6-2)m + b}{6} \quad (1.11)$$

onde  $a=\mu_1$ ;  $b=\mu_2$ ,  $m=\hat{h}$  e  $\lambda_1 + \lambda_2 = 6$ ; e

$$\mu_2(\mathfrak{X}) = \frac{(\mu_2 - \mu_1)^2 \lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 + \lambda_2)^2 (\lambda_1 + \lambda_2 + 1)} = \frac{(b-a)^2 \lambda_1 \lambda_2}{6^2 \cdot 7} = \frac{(b-a)^2}{36} \quad (1.12)$$

onde  $a=\mu_1$ ;  $b=\mu_2$ ,  $m=\hat{h}$ ;  $\lambda_1 + \lambda_2 = 6$ ; e  $\lambda_1 \lambda_2 = 7$ .

Com base nas equações (1.13) e (1.14) da  $\beta$ -distribuição

$$\mu = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (1.13)$$

$$\text{mod } a = \frac{\alpha - 1}{\alpha + \beta - 2} \quad (1.14)$$

estabelece-se o seguinte sistema de equações

$$\left\{ \begin{array}{l} MPN = \frac{\alpha'}{\alpha' + \beta'} \\ ModN = \frac{\alpha' - 1}{\alpha' + \beta' - 2} \end{array} \right\} \quad (1.15)$$

Deste sistema de equações, conhecidos os valores MPN e ModN é possível obter  $\alpha'$  (Alpha) e  $\beta'$  (Beta), utilizando a expressão  $h$  como facilitadora:

$$h = \frac{MPN}{1 - MNP} \quad (1.16)$$

$$\beta' = \frac{1 - 2 * (ModN)}{h - (ModN(1 + h))} \quad (1.17)$$

$$\alpha' = h\beta' \quad (1.18)$$

Na medida em que o numerador ou o denominador da equação (4.14) pode conduzir a resultado nulo ou indeterminado, a equação (1.17) é utilizada com o seguinte ajuste:

$$\beta' = \frac{[1 - 2 * ModN] + 0,0000001}{[h - (ModN(1 + h))] + 0,00000033333} \quad (1.19)$$

Com o objetivo de atender às limitações da aproximação onde  $\lambda_1 \lambda_2 = 7$ , o produto dos valores obtidos nas equações (1.18) e (1.19) são ajustados de forma a que seu produto represente 7,00. Para tal procede-se da seguinte forma:

$$\alpha = h\beta' / (\sqrt{\alpha' \beta'}) \quad (1.20)$$

$$\beta = \frac{[1 - 2 * ModN] + 0,0000001}{[h - (ModN(1 + h))] + 0,00000033333} / (\sqrt{\alpha' \beta'}) \quad (1.21)$$

A figura 2 mostra exemplo de especificação de  $\beta$ -indicador de acordo com a metodologia aqui descrita. Fornecidos os valores **a**, **m**, **b** o modelo fornece os valores Alpha e Beta que desenham a curva.

O presente modelo considera o uso de uma planilha Excel, na medida em que tal planilha tem um conjunto de funções que possibilita obter não só os parâmetros  $\alpha$  (Alpha) e  $\beta$  (Beta) da  $\beta$ -distribuição mas também a curva da  $\beta$ -densidade (figura 2).

Caso se observe que as estimativas menor e maior são simétricas em relação à estimativa mais provável, isto é, no caso de se observar que **m-a = b-m**, infinitos valores iguais podem ser atribuídos para Alpha e Beta. Neste caso  $\alpha'$  e  $\beta'$  assumem o valor discricionário 3,00 que produz uma curva em discreta forma de sino. Esta limitação explica os acréscimos 0,0000001 e 0,00000033333 na equação (1.21).

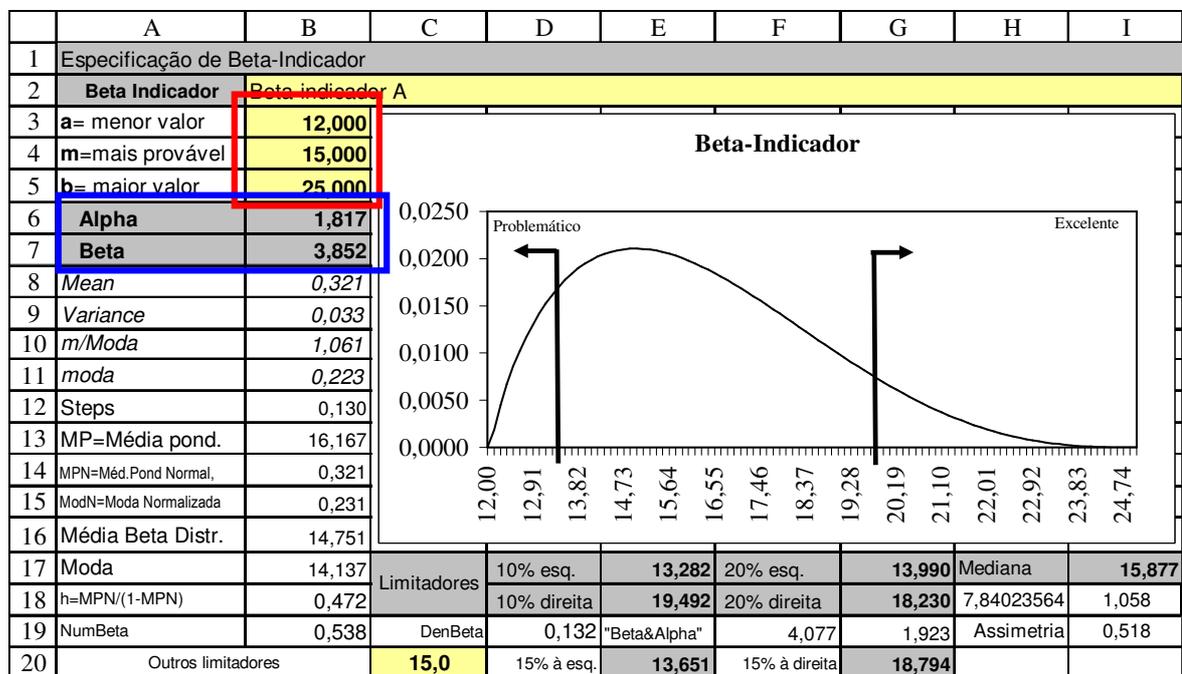


Fig. 2: Especificação de  $\beta$ -indicador partindo-se dos valores **a**, **m**, **b**.

O modelo proposto é um modelo aproximado, embora os valores dele provenientes sejam aplicáveis à maior parte dos indicadores na área da Administração da Produção ou de outra função administrativa.

### 3. Metodologia

Para testar a aderência do modelo proposto, foram utilizadas simulações, especialmente de  $\beta$ -distribuições. A simulação, no dizer de Saliby (1989) é uma abordagem de estudo que corresponde à realização de experimentos numéricos com modelos lógico-matemáticos. Para Escudero (1973), os métodos de simulação permitem explorar um grande número de casos teóricos.

Na presente pesquisa foi utilizado o pacote estatístico Minitab r13, e o processo de simulação atendeu ao proposto por Ryan & Joiner (2000). Foram utilizadas as funções Calc > Random Data > Beta. Na janela que se abre é informado o número de simulações a efetuar e os parâmetros Alpha e Beta.

#### 4. Resultados e conclusão

Espera-se que o  $\beta$ -indicador, conforme o modelo proposto, seja adequado no estabelecimento dos limitadores de alertas, isto é, que os alertas ocorram nas proporções estabelecidas à esquerda ou à direita dos limitadores de alerta  $LA_{ex\%}$  (limitador à esquerda) e  $LA_{dx\%}$  (limitador à direita). Considere-se o  $\beta$ -indicador da figura 3: espera-se que eventos que ocorram com  $\beta$ -distribuição com parâmetros  $\text{Alpha}=2,740$  e  $\text{Beta}=2,554$ , ocorram 10% das vezes até ao valor 4,941 e 10% das vezes acima de 6,979. Espera-se também que 50% dos valores se situem acima da mediana: 5,976.

Por meio de um teste  $\chi^2$  pode-se verificar se os resultados observados diferem ou não significativamente dos resultados esperados. Este teste foi utilizado para verificar se os valores observados diferem significativamente dos valores esperados. Foram feitos três tipos de testes: para resultados esperados = 1000 (cauda de 10%); para resultados esperados = 2000 (cauda de 29%) e para resultados esperados = 5000 (mediana).

Nos 30 valores observados referentes às caudas de 10% a média foi 991,933 com um desvio padrão de 34,8. O intervalo de confiança, ao nível de significância de 0,05 ficou entre 978,92 e 1005,0 – compreendendo o valor esperado. O valor mínimo observado foi 930 a mediana situou-se em 991, e o valor máximo foi 1079.

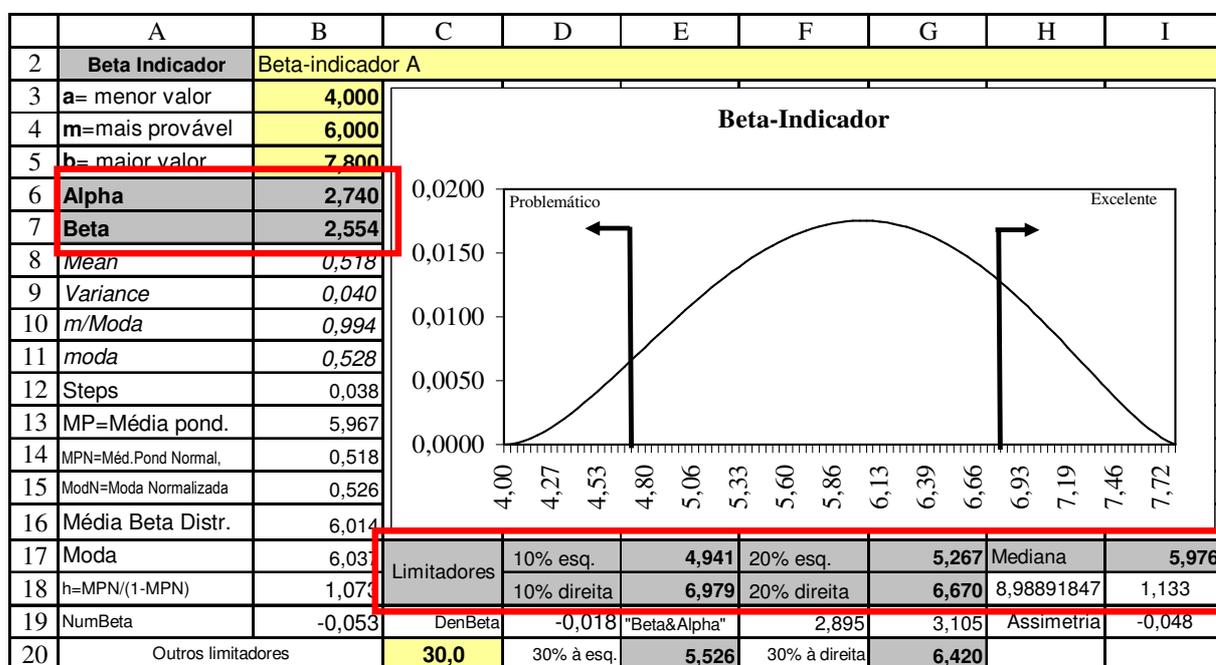


Fig. 3: Elementos considerados para investigar a acurácia de um  $\beta$ -indicador.

Nos 38 valores observados referentes às caudas de 20% a média foi 1990,25 com um desvio padrão de 40,74. O intervalo de confiança, ao nível de significância de 0,05 ficou entre 1956,2 e 2024,3 – compreendendo o valor esperado. O valor mínimo observado foi 1932 a mediana situou-se em 1988,5 e o valor máximo foi 2024,3.

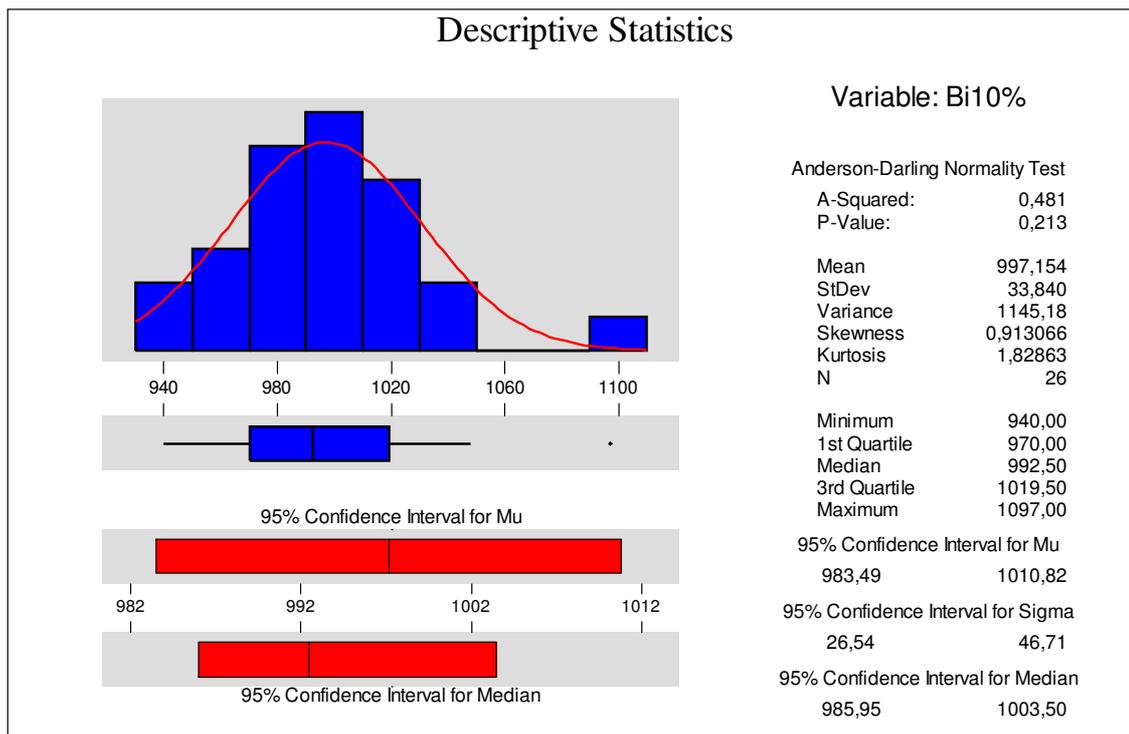


Fig. 4: Estatísticas descritivas dos resultados da análise da acurácia de um  $\beta$ -indicador.

Nos 38 valores observados referentes à mediana (50%), a média foi de 4994,1 com um desvio padrão de 63,3. O intervalo de confiança, ao nível de significância de 0,05 situou-se entre 4964,44 e 5023,66 – compreendendo o valor esperado.

Observe-se que, de acordo com Costa Neto (1977:70) dá-se o nome de intervalo de confiança ao intervalo que, com probabilidade conhecida, deverá conter o valor real do parâmetro. No presente trabalho a probabilidade é de 95%. Os resultados observados não diferem significativamente dos valores esperados ao nível de significância de 5%.

## **Referências**

- ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS (2003) - An introduction to Management Science: quantitative approaches to decision making. New York: Tomson.
- BELCHIOR, P.G.O. (1974) - Métodos de caminho crítico na administração de projetos. Rio de Janeiro: Americana.
- BOITEUX, C.D.(1985) - PERT, CPM, ROY e outras técnicas de programação e controle. Rio de Janeiro, LTC.
- BURY, K.V.(1975) - Statistical Models in Applied Science. New York: John Wiley.
- COSTA NETO, P.L.O. (1977) - Estatística. São Paulo: Edgard Blücher.
- ESCUDERO, L.F.(1973) - La simulacion em la empresa. Bilbao: Deusto.
- FENTE, J.; KNUTSON, K.; SCHEXNAYDER, C.(1999) - Defining a Beta Distribution Function for Construction Simulation. In: FARRINGTON, P.A; NEMBHARD, H.B.; STURROCK, D.T.; EVAN, G.W. (eds) - Proceedings of the Simulation Conference, Winter.
- HILL, R.C.; GRIFFITHS, W.E; JUDGE, G.G. (2003) - Econometria. São Paulo, Saraiva.
- HIRSCHFELD, H. (1970) - Planejamento com PERT/CPM. São Paulo: Atlas.
- IRWING (2000). Project Management with PERT/CPM. New York: McGraw-Hill.
- RYAN; JOINER (2000) - Minitab Handbook. 4.ed. New York: Duxbury.
- WALKER II, E.D. (2001) - Introducing Project Management Concepts using a Jewelry Store Robbery. The Decision Sciences Journal of Innovative Education. Statesboro.
- WURMAN, R.S. (1995) - Ansiedade de informação: como transformar informação em compreensão. São Paulo, Cultura.