

---

# Identificação e Caracterização do Evento "Black Swan" em um Acidente Aeronáutico

Moacyr Machado Cardoso Júnior<sup>1,2</sup>,

1 Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

2 Grupo de Estudos em Análise de Riscos – GEAR-ITA

---

## BIOGRAFIA:

Moacyr Machado Cardoso Junior é atualmente Professor de Gestão de Risco Tecnológico e Métodos Quantitativos Aplicados à Análise de Risco nos cursos de graduação e pós-graduação do ITA. É Analista de Ciência e Tecnologia no Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA e doutor em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo ITA na área de Produção. Possui mestrado em Máquinas Agrícolas pela Universidade de São Paulo em 1992 e mestrado em Gestão e Tecnologia Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT em 2004. Atua na área de Segurança do Trabalho e Gestão de Riscos com ênfase em métodos estatísticos multivariados.

**RESUMO:** Eventos *Black Swan* são questões críticas na análise de risco. São eventos com probabilidade de ocorrência extremamente baixa e, em geral, descartados do processo de análise de risco. Este artigo tem como objetivo identificar e caracterizar um acidente aeronáutico ocorrido no Brasil com grande repercussão na mídia, que foi o acidente ocorrido durante o voo 1907 da GOL e do Embraer-Legacy em 2006. Após a colisão em voo, todos os ocupantes do voo 1907 morreram. O evento foi classificado como "não era um Black-Swan", "Black-Swan: desconhecido-desconhecido", "Black-Swan: desconhecido" e finalmente "Black-Swan: não se acredita que ocorra". Os dados foram coletados por um processo de elicitação de especialistas. Os especialistas neste caso foram pilotos, controladores de tráfego aéreo e especialistas em análise de risco. Em nenhum momento o evento foi classificado como "Black Swan: desconhecido-desconhecido", o que significa que o evento acidental não foi surpresa para ninguém. O método utilizado foi capaz de atribuir uma classificação do acidente às diferentes classes. A partir de dados extraídos por especialistas, foi possível obter uma distribuição de probabilidade de cada classe. Os resultados mostraram que em 20,8% dos casos, os especialistas classificaram o evento como "Não foi um Black Swan", em 8,3% como "Black Swan: desconhecido-conhecido, e 70,8% como "Black Swan: não se acredita que ocorra". As distribuições de probabilidade obtidas dos especialistas mostraram grande desacordo entre elas e o valor esperado foi considerado baixo, mas, as distribuições obtidas podem ser usadas em análises de risco futuras como uma distribuição *a priori* em uma abordagem bayesiana.

**Palavras Chave:** Acidente aéreo, Análise de Risco, Black Swan, Elicitação.

## Identification and Characterization of the “Black Swan” Event in an Aeronautical Accident

**ABSTRACT:** Black-Swan events are critical issues in risk analysis. They are events with extremely low probability of occurrence and are usually discarded along the risk analysis process. This paper aims to identify and characterize a major aeronautical accident that happened in Brazil in 2006: the inflight collision between flight GOL 1907 and a private Embraer-Legacy. After the collision, all 1907 occupants died. The event was classified as “not a Black-Swan”, “Black-Swan/unknown-known”, “Black-Swan/unknown”, and finally “Black-Swan/not believed to occur”. The data were collected by an expert elicitation process. The experts were pilots, air traffic controllers and risk analysis specialists. At no point, the event was classified as “Black-Swan/unknown-unknown”, which means that the accident event was no surprise for anyone. The method applied was able to assign an accident classification to the different classes. From the data extracted by the experts, it was possible to obtain a probability distribution of each class. The results showed that in 20.8% of cases, the experts rated the event as “not a Black-Swan”, at 8.3% as “Black-Swan/unknown-known”, and at 70.8% as “Black-Swan/not believed to occur”. The probability distribution obtained from the experts showed a great disagreement between them and the expected value was considered low, but those distributions can be used in future risk analysis as an “a priori” distribution in an Bayesian approach.

**Keywords:** Air accident, Risk analysis, Black-Swan, Elicitation.

**Citação:** Júnior, MMC. (2018) Identificação e Caracterização do Evento "Black Swan" em um Acidente Aeronáutico. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 9, No. 2, pp. 144-151

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto da avaliação de riscos, exige-se que os especialistas conduzam o processo de avaliação de riscos, que envolve identificação, análise, avaliação e tomada de decisões sobre possíveis controles e/ou medidas de mitigação de riscos inerentes a um processo, sistema, equipamentos e outros (ABNT-ISO, 2009). Na fase de identificação, todas as ameaças e/ou riscos inerentes ao sistema são levantadas. Esta fase é crucial porque os eventos potenciais não identificados, não serão analisados e não farão parte do processo de tomada de decisão. Na fase de análise de risco, as causas e suas fontes são avaliadas e as consequências de um evento indesejado são estimadas. A tripla causa-evento-consequência define um risco e, para cada risco, sua probabilidade

de ocorrência é determinada, associada a uma causa e as consequências de sua materialização. Na última fase, a avaliação de risco, os critérios de tolerância ou a atitude em relação ao risco são comparados com os valores obtidos na fase de análise de risco. Essa comparação ajuda o processo de tomada de decisão em relação ao tratamento de risco, bem como sua priorização.

Os eventos descritos por (AVEN, 2013; FLAGE; AVEN, 2015) como Black-Swan são caracterizados pelos seguintes atributos: São considerados *outliers*, ou seja, representam eventos extremamente improváveis com consequências extremas e, via de regra, após sua materialização, são perfeitamente explicáveis e previsíveis pelos especialistas, o que representa um paradoxo.

Esses eventos representam uma ameaça real ao processo de avaliação de risco, pois não farão parte da análise ou, se forem identificados, serão descartados depois disso, devido à sua probabilidade extremamente baixa. Novas estratégias devem ser desenvolvidas para incorporar e manter esses eventos no processo de análise de risco, conforme descrito por (AVEN, 2015).

Um passo fundamental nessa direção é entender como esses eventos são percebidos pelos especialistas, e assim, este trabalho tem como objetivo identificar e classificar os diferentes eventos *Black-Swan* ocorridos em um acidente tecnológico no Brasil, com base na elicitación de especialistas. E consequentemente aponta estratégias gerais que poderiam ajudar os analistas de risco a lidar com os *Black-Swan*.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: Além desta breve introdução e contextualização, na seção 2, com fundamentação teórica sobre os eventos *Black-Swan* e as ferramentas de elicitación. Na seção 3, o método de pesquisa é apresentado. Na seção 4 os resultados e discussão e finalmente na seção 5 as considerações finais e propostas para novas pesquisas neste tema.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 *Black Swan*

A teoria dos eventos Black Swan vem de uma metáfora que descreve um evento que é uma surpresa e tem um enorme impacto negativo. O termo "Black Swan" vem da ideia de que esses animais não existiriam na natureza, o que mais tarde foi negado pela descoberta desses animais na Austrália no ano de 1967 (TALEB, 2010).

Segundo (AVEN, 2013) o termo foi popularizado por Taleb (2007) em seu livro "The Black Swan", e destacou três atributos associados ao termo: 1) É um outlier, no sentido de que não se pode esperar a ocorrência desse evento com base em eventos anteriores; 2) Envolve um impacto extremo e 3) Após a sua ocorrência, pessoas e especialistas inventam explicações lógicas, tornando o evento explicável e previsível.

O primeiro atributo é questionado por alguns pesquisadores, porque se o evento é um outlier na interpretação da teoria da probabilidade, até mesmo pequenas probabilidades de ocorrência podem ocorrer devido ao espaço de tempo considerado.

(AVEN, 2013) conclui que o conceito de "Black Swan" pode ser visto de duas formas: (i) um evento raro com consequências extremas; e (ii) um evento extremo e surpreendente em relação ao conhecimento e/ou crença atual, e que este último pode ser mais apropriado.

(FLAGE; AVEN, 2015) classifica os eventos "Black Swan" em três tipos básicos: (i) eventos que são completamente desconhecidos no meio científico, denominado desconhecido-desconhecido, como uma referência ao fato de serem desconhecidos para os analistas de risco e também para a ciência; (ii) Eventos que não estão na lista de analistas de risco, mas estão na lista de especialistas e/ou ciência (desconhecidos); (iii) Eventos conhecidos por analistas de risco, mas julgados como tendo probabilidade insignificante de ocorrência e, portanto, não são passíveis de análise, uma vez que são considerados "não se acredita que ocorram". O autor também cita alguns exemplos dos três tipos: O uso da talidomida em 1957, uma droga que causou malformação congênita dos membros superiores, que era totalmente desconhecida por médicos e cientistas. O ataque às Torres Gêmeas em 11 de setembro pode ser considerado como tipo (ii) e, finalmente, o tsunami que destruiu o reator nuclear de Fukushima como um exemplo do tipo (iii).

Na Figura 1, apresenta-se o mapa conceitual da questão focal: o que são "Black Swan", que resume o que foi discutido até aqui.

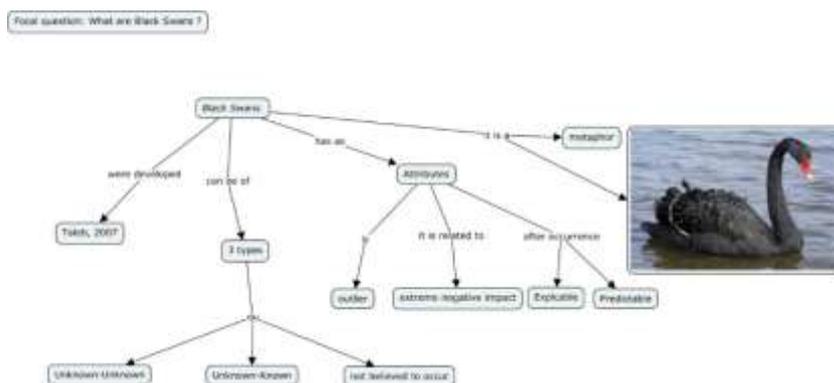


Figura 1 – Mapa Conceitual de “Black Swan”.

(PATÉ-CORNELL, 2012), apresenta o conceito de "Tempestade Perfeita" para designar um evento raro envolvendo incerteza, e isso é representado pela aleatoriedade de eventos conjuntos, mas conhecidos. Difere do termo "Black Swan" porque este último envolve incerteza epistêmica ou falta de conhecimento, ou seja, não apenas a falta de conhecimento da distribuição de probabilidades, mas a ignorância do fenômeno em si. O autor conclui que o gerenciamento proativo com alertas precoces, detecção rápida e respostas principalmente ágeis permitem que os analistas cumpram a Lei XLV de Augustine, ou seja, "Deve-se esperar que o esperado possa ser evitado, mas o inesperado deveria ser esperado"

## 2.2 Elicitação de Probabilidades

A elicitação é um processo de construção de distribuições de probabilidade a partir da extração de crenças e conhecimento especializado sobre uma ou mais incertezas.

(GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005) argumentam que grande parte da literatura sobre elicitação se preocupa em construir uma distribuição de probabilidade para modelar incertezas quando há dados insuficientes para construir um modelo. Como exemplo, os autores citam o caso da tomada de decisão onde a incerteza em relação ao tema deve ser representada por uma distribuição de probabilidades para maximizar a utilidade esperada.

No processo de elicitação, a figura de um facilitador é de vital importância, uma vez que nem todos estão cientes das probabilidades e distribuições e, desta forma, o processo deve ser cuidadosamente conduzido para evitar os vieses e heurísticas que podem afetar o resultado final.

(GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005) sugerem que as pessoas são afetadas por heurísticas e vieses em como elas respondem a questões de incerteza.

(BURGMAN et al., 2006) descrevem algumas heurísticas que influenciam o processo de elicitação, tais como: a representatividade, ou seja, à medida que a quantidade de detalhes em um determinado cenário aumenta, sua probabilidade só pode diminuir, embora devido à sua representatividade a probabilidade aparente cresça.

Outra heurística citada pelos autores é a disponibilidade, isto é, eventos comuns são mais prováveis, ou mais recentes ou mesmo aqueles que foram muito explorados pela mídia. E finalmente a heurística de ancoragem, que afirma que quando uma pessoa é solicitada a estimar um número, porcentagem ou faixa de valores, as pessoas ancoram em valores que foram previamente sugeridos ou surgiram de outros julgamentos.

A grande vantagem do processo na utilização dos resultados para o processo de tomada de decisão e, nesse contexto, a captação de opinião de especialistas é fundamental. E a possibilidade de construir a distribuição prévia para inferência em um processo bayesiano (GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005).

Diversos autores utilizaram a elicitação de probabilidades em diferentes aplicações, como probabilidades de explosão em diferentes cenários (MACDONALD; SMALL; MORGAN, 2008), que solicitaram aos especialistas estimativas dos limites de probabilidade superior (U) e inferior (L), e ainda que fornecem o valor modal ou valor mais provável e, em seguida, divide o intervalo [L, U] em seis subintervalos. Os autores encontraram falta de consenso entre os especialistas. Elicitação preditiva de distribuições subjetivas de probabilidade foi usada para avaliar a eficácia da Opção de Controle de Risco (RCO) para reduzir o risco de colisões de navios no Mar Territorial da Austrália e Zona Econômica Exclusiva (HOSACK; HAYES; BARRY, 2017). IOANNOU et al., (2017) usaram 13 especialistas internacionais para elucidar as respostas de uma armação de concreto armado moldada quando expostas a diferentes intensidades de fogo, e então para julgar o nível de resposta que seria necessário para causar um dado nível de dano. A elicitação oferece um método viável para gerar evidências para a informação que falta, mas há uma série de questões-chave que devem ser analisadas no processo real de elicitação, como ponderação, agregação e outras (BOJKE et al., 2010).

Em um processo de elicitação de especialistas, incertezas climáticas, energéticas e econômicas (USHER; STRACHAN, 2013) descobriram que, embora os especialistas concordassem com a estrutura dos parâmetros incertos, a forma das distribuições representando suas crenças mostrou ampla variação, refletindo as diferentes perspectivas dos entrevistados. Decompor a estrutura dos parâmetros e explorar a influência da dependência de respostas de especialistas pode ajudar a explicar algumas dessas diferenças. No entanto, as crenças combinadas são insensíveis aos pressupostos de ponderação que compensam o viés e as correlações dentro e entre os especialistas.

Um dos métodos usuais para a elicitação de probabilidades é o do quartis. Em que especialistas são solicitados a atribuir o valor médio para a distribuição e, em seguida, avaliar outros pontos da distribuição. Os métodos de quartis são os melhores para amortecer heurísticas e vieses de especialistas, segundo (GARTHWAITE; KADANE; HAGAN, 2005) (MORRIS; OAKLEY; CROWE, 2014)

A agregação de distribuição de especialistas normalmente depende de esquemas de combinação muito simples, como a atribuição de ponderação igual a todos os especialistas participantes. (ASPINALL, 2005). E, embora outras formas, como o método clássico de Cooke, que é uma média aritmética ponderada das distribuições de probabilidade dos especialistas. Mas em muitos estudos simulados não foram melhores do que a maneira mais simples de uma média aritmética simples (CLEMEN, 2008).

## 3 METÓDO

Para a identificação e caracterização dos eventos *Black Swan*, foi aplicado um questionário de pesquisa de elicitação com base no acidente aéreo - GOL-Legacy em 2006; que será detalhado da seguinte forma:

O voo 1907 da Gol era uma rota comercial doméstica, operada pela Gol Airlines, usando um Boeing 737-8EH. Em 29 de setembro de 2006, a aeronave partiu do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, em Manaus, para o Aeroporto Internacional do Galeão, no Rio de Janeiro, com uma parada intermediária no Aeroporto Internacional Juscelino Kubitschek, em Brasília. Ao sobrevoar o estado de Mato Grosso, ele colidiu em pleno voo com um Legacy 600 da Embraer. Todos os 154 passageiros e tripulantes a bordo do Boeing 737 morreram depois que o avião caiu, após colisão em uma área de floresta fechada, enquanto o Legacy, apesar de ter sofrido graves danos à sua asa e estabilizador horizontal esquerdo, pousou com segurança e seus sete ocupantes ilesos no Campo de Prova Brigadeiro Velloso, em Novo Progresso - PA. O CENIPA concluiu que o acidente foi causado tanto por controladores de tráfego aéreo quanto por erros de pilotos do Legacy, enquanto o *National Transportation Safety Board* (NTSB) determinou que todos os pilotos agiram corretamente e foram colocados em rota de colisão para vários erros de controladores de tráfego aéreo. (WIKIPEDIA, 2017)

Os especialistas foram escolhidos com base em sua formação profissional, para que o evento fosse analisado. Utilizou-se amostragem do tipo “*snow-ball*”, uma vez que cada especialista foi convidado a indicar outro especialista que pudesse participar da pesquisa. Os formulários do Google foram usados para enviar os questionários. Uma breve contextualização da pesquisa, destacando o que são eventos *Black Swan* e o cenário analisado foi apresentado, para que os especialistas estimassem a probabilidade de que o evento descrito seja enquadrado em uma das classes: “Não foi um *Black Swan*”, “*Black Swan*: desconhecido-desconhecido”, “*Black Swan*: desconhecido-conhecido” e “*Black Swan*: que não se acredita que ocorra”.

O método do quartis foi utilizado no processo de elicitação, a fim de minimizar os vieses e heurísticas dos especialistas. O ajuste das distribuições de probabilidade e agregação individuais foram realizados com o pacote SHELF: “*Tools to Support the Sheffield Elicitation Framework*” (OAKLEY, 2017), do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017). Pesos iguais foram atribuídos aos diferentes especialistas, de modo que a distribuição de probabilidade final foi obtida pelo algoritmo de agregação linear.

#### 4 RESULTADOS

Este acidente foi analisado por 23 especialistas, incluindo controladores de tráfego aéreo, pilotos de aeronaves e especialistas em segurança da aviação. Destes, apenas 1 foi descartado da análise devido à incoerência no processo de elicitação de probabilidades.

Como resultado geral, os especialistas classificaram o acidente conforme apresentado na Tabela 1, ou seja, a grande maioria (70,8%) considerou este tipo de evento perfeitamente previsível, mas com uma probabilidade muito baixa, representando assim um evento inacreditável, classificando-o como “*Black Swan*: que não se acredita que ocorra” Essa visão pode ser confirmada nas justificativas dos especialistas, dentre os quais destacamos os seguintes:

- Especialista A: “Eu considero causas conhecidas, mas de probabilidade muito pequena”.
- Especialista B: “Acredito que a falta de treinamento e investimento fez com que a possibilidade de um acidente parecesse estar subestimada, apesar do fato de todos os órgãos responsáveis falarem que esse cuidado é um dos pilares do sistema de controle da aviação no país. ”
- Especialista C: “porque nunca aconteceu antes desse jeito”.
- Especialista D: “Com as tecnologias atuais do TCAS, entre outros, os responsáveis assumem que a colisão entre duas aeronaves em voo é algo quase impossível de ocorrer e acabam negando os riscos dessa situação. “
- Especialista E: “Todos sabiam que isso poderia acontecer, mas ninguém acreditava que isso aconteceria. “
- Especialista F: “Devido à existência de equipamentos do tipo *transponder* e TCAS, por exemplo, este tipo de acidente é conhecido por analistas de ciência e risco, mas sua probabilidade de ocorrência é muito improvável. ”

**Tabela 1:** Distribuição da classificação do evento ocorrido com o Acidente - Gol 1907 - Legacy - ano: 2006.

“Não foi <i>Black Swan</i> ”	“ <i>Black Swan</i> : desconhecido desconhecido”	“ <i>Black Swan</i> : desconhecido - conhecido”	“ <i>Black Swan</i> : que não se acredita que ocorra”
20,8%	0%	8,3%	70,8%

A segunda classe, com 20,8%, foi classificada como não-*Black Swan* pelos especialistas, e a justificativa foi:

- Especialista A: “A evolução tecnológica da navegação aérea forneceu uma rota quase perfeita no meio das vias aéreas, quase sem desvio lateral. Então a aeronave, devido ao avançado equipamento de navegação a bordo, mantendo o mesmo nível de voo, passou no mesmo ponto. ”
- Especialista B: “Vários relatórios de risco (RELPREV), agora conhecidos como Relatórios de Prevenção, concluídos antes do acidente, já indicavam que algo assim poderia ocorrer. Eu preenchi muitos.

- Especialista C: “Os fatores que causaram o acidente são conhecidos, mas as conjunturas do sistema (falhas humanas e de equipamentos) foram determinantes para que ocorresse”.

E finalmente a menor (8,3%) foi classificada como sendo um *Black Swan* de natureza desconhecida pelos analistas e conhecido pelos especialistas.

Alguns relatórios de especialistas:

- Especialista A: “A indicação de TCAS OFF com baixa visibilidade pode estar associada a erro humano. A coincidência das rotas era previsível pela precisão da tecnologia. Questão de montar as coisas, o que não é trivial”.
- Especialista B: “Os operadores de tráfego geralmente conheciam os riscos e contornavam-no”.

Vale ressaltar que nenhum especialista considerou o evento como sendo do tipo *Black Swan* Desconhecido- Desconhecido.

Obteve-se também os resultados do processo de elicitación da distribuição da probabilidade subjetiva dos especialistas em cada classe, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2:** Ajuste obtido no processo de elicitación de probabilidade - "p" para o evento - Gol 1907 – Legacy – year: 2006.

Classe de <i>Black Swan</i>	Especialista	Melhor ajuste (soma erro quadrático)	Parâmetros do Modelo
“Não foi <i>Black Swan</i> ”	A	Beta	$\alpha = 0.9999813$ $\beta = 1.000008$
	B	Beta	$\alpha = 1.6925468$ $\beta = 1.196452$
	C	Beta	$\alpha = 2.4078168$ $\beta = 1.310733$
	D	Normal	$\mu = 0.1538458$ $\sigma = 0.1140464$
	E	Beta	$\alpha = 4.3184044$ $\beta = 2.683653$
“Black-Swan desconhecido- conhecido”	A	Normal	$\mu = 0.2499995$ $\sigma = 0.1853250$
	B	Beta	$\alpha = 0.4265952$ $\beta = 0.5049448$
“ <i>Black Swan</i> que não se acredita que ocorra”	A	Beta	$\alpha = 0.8971646$ $\beta = 0.3533580$
	B	Beta	$\alpha = 7.6919001$ $\beta = 1.5864494$
	C	Beta	$\alpha = 1.6352622$ $\beta = 0.6040447$
	D	Normal	$\mu = 0.4285489$ $\sigma = 0.2115726$
	E	Beta	$\alpha = 0.7982027$ $\beta = 1.4190533$
	F	Beta	$\alpha = 1.1738755$ $\beta = 0.6334071$
	G	Beta	$\alpha = 0.9999813$ $\beta = 1.0000085$
	H	Beta	$\alpha = 0.9999813$ $\beta = 1.0000085$

	I	Beta	$\alpha = 0.5234347$ $\beta = 1.2619953$
	J	Beta	$\alpha = 0.9999813$ $\beta = 1.0000085$
	K	Beta	$\alpha = 0.7329743$ $\beta = 0.3972961$
	L	Beta	$\alpha = 0.9999813$ $\beta = 1.0000085$
	M	Beta	$\alpha = 0.6203376$ $\beta = 1.0806761$
	N	Beta	$\alpha = 0.3533580$ $\beta = 0.8971646$
	O	Beta	$\alpha = 0.9999813$ $\beta = 1.0000085$
	P	Beta	$\alpha = 0.9999813$ $\beta = 1.0000085$

Na Tabela 2 é possível identificar para cada classe de *Black Swan* a distribuição que forneceu o melhor ajuste de acordo com o critério de mínimos quadrados entre o modelo ajustado e os dados de cada especialista. E finalmente os valores obtidos para os parâmetros. Três modelos de probabilidade foram utilizados neste ajuste: distribuições Beta, Gama e Normal que possuem suas formas funcionais definidas por: Beta:  $p \sim \text{Beta}(\alpha, \beta)$ , onde A Função Densidade-Probabilidade - fdf é definida:

$$f(p) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} p^{\alpha-1} (1 - p)^{\beta-1} \tag{Eq. 1}$$

$\alpha, \beta > 0 ; p \in [0,1]$   
 $\alpha, \beta$  são os parâmetros de forma.

$$f(p) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} p^{\alpha-1} e^{-\beta p} \tag{Eq. 2}$$

$\alpha, \beta > 0 ; p > 0$   
 $\alpha$ : Parâmetro de forma.  
 $\beta$ : Parâmetro de escala.

$\Gamma$ : é a função gama, definida:

$$\Gamma(z) = \int_0^\infty x^{z-1} e^{-x} dx \tag{Eq. 3}$$

Normal:  $p \sim \text{Normal}(\mu, \sigma^2)$

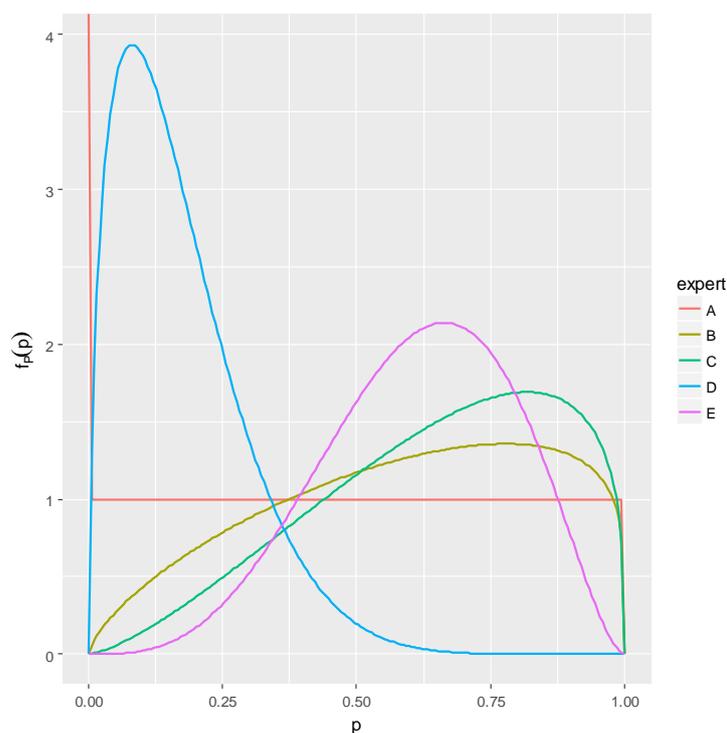
onde:

$$f(p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(p-\mu)^2}{\sigma^2}} \tag{Eq. 4}$$

$\mu, \sigma$ : representa a média e o desvio padrão respectivamente.

Na Figura 2, apresenta-se, como exemplo, o resultado para o processo de elicitação da classe "não foi *Black Swan*".

Nesta classe, quatro dos cinco melhores ajustes foram Beta e apenas um era Normal, então decidiu-se considerar a distribuição Beta para todos os casos, incluindo "*Black Swan*: desconhecido-conhecido" e "*Black Swan*: que não se acredita que ocorra". Esta decisão é possível porque os valores para "p" estão entre [0,1], então Beta é tecnicamente melhor que Normal.



**Figura 2:** Resultado do processo de eliciação para distribuição de probabilidade Beta para "não um *Black Swan*", para Acidentes de Aeronaves - Gol 1907 - Legacy - ano: 2006, para todos os especialistas considerados.

Na Tabela 3, os valores dos quantis para os especialistas são fornecidos considerando a distribuição Beta, e pode-se ver que não há muita concordância entre os especialistas para o valor "p" e que a classe de *Black Swan* considerada não foi fortemente evidenciada.

**Tabela 3:** Valores de "p" - probabilidade de que o evento com o Acidente de Aeronaves - Gol 1907 - Legacy - ano: 2006 não foi "*Black Swan*", ajustado pela distribuição Beta, para os quantis 0,25; 0,50; 0,75 e 0,95.

Quantil	Especialista				
	A	B	C	D	E
0.25	0.250	0.394	0.492	0.0801	0.497
0.50	0,500	0.608	0.676	0.1470	0.628
0.75	0,750	0.796	0.828	0.2380	0.748
0.95	0,950	0.949	0.954	0.3990	0.879

Calculou-se a média dos valores esperados de cada especialista, obtendo-se os seguintes valores:  $E[p] = 0,5193$ , para a classe *Black Swan* do tipo "não se acredita que ocorra";  $E[p] = 0,5042$  para "não um *Black Swan*" e  $E[p] = 0,3644$  para o tipo "*Black Swan*: Desconhecido-Conhecido". A agregação do valor esperado de diferentes especialistas foi realizada por agregação linear.

A conclusão é que, embora os especialistas tenham classificado o evento em diferentes tipos de *Black Swan*, eles não foram capazes de produzir um valor "p" consistente com sua classificação, denotando a grande discrepância entre os especialistas.

O processo de eliciação foi capaz de produzir a distribuição agregada dos valores "p". Estes valores podem ser utilizados no futuro como distribuição a priori para estudos futuros na análise de risco de eventos dessa natureza.

## 5 CONCLUSÕES FINAIS

Conforme proposto nos objetivos, isto é, identificar e classificar diferentes tipos de *Black Swan*, este artigo chegou a esse resultado. Para o evento analisado foi possível extrair de especialistas as diferentes classificações: "não foi *Black Swan*", "*Black Swan* desconhecido-desconhecido", "*Black Swan* desconhecidas-conhecido", e "*Black Swan*: que não se acredita que ocorram". Para todos os casos, "*Black Swan* desconhecido-desconhecido" nunca foi relatado por nenhum dos especialistas. É possível concluir que o evento nunca representou um evento completamente desconhecido, tanto pelos analistas de risco quanto pela ciência, ou seja, não representa surpresa para ninguém. Este fato contradiz o tipo (ii) - um evento extremo e surpreendente em relação ao conhecimento e / ou crença atual, como afirmado em (Aven, 2013).

Um dos atributos dos eventos *Black Swan*, ou seja, após sua ocorrência, pessoas e especialistas fornecem explicações lógicas, tornando um evento até então desconhecido em um evento perfeitamente previsível, o que está de acordo com (AVEN, 2013).

Na maioria das vezes, especialistas classificaram eventos como “*Black Swan* que não se acredita que ocorram”, o que significa que os eventos são em geral bem conhecidos, mas como sua probabilidade é considerada extremamente baixa, os eventos são descartados na análise de risco. Isso leva a concluir que o evento analisado às vezes pode ser classificado como *outliers* e isso representa um problema para a análise de risco.

O processo de elicitación mostrou grande desacordo entre os especialistas. O valor esperado, ou seja, o mais provável, foi consistentemente baixo em todos os casos analisados. Esse problema pode representar uma falha na elicitación, que precisará de mais pesquisas para confirmar ou descartar. Mas ainda assim, acredita-se que o processo foi útil e poderia servir de base para futuros estudos de análise de risco, como a distribuição de crenças *a priori* em uma análise bayesiana.

Pesquisas futuras devem analisar outros eventos em diferentes contextos, e talvez analisar a ocorrência do *Black Swan* usando redes de crenças bayesianas, isto é, estudando fatores que afetam as crenças dos especialistas no processo de elicitación.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos os especialistas anônimos que dedicaram algum tempo a responder aos formulários específicos, dando sua contribuição valiosa para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABNT-ISO. NBR-ISO 31000: Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes, 2009.
- ASPINALL, W. P. Chapter 2 Structured Elicitation of Expert Judgment for Probabilistic Hazard and Risk Assessment in Volcanic Eruptions. In: Mader, H.M., et al. (Eds.), Statistics in volcanology. Special Publication of IAVCEI. [s.l.] Geological Society of London., 2005. p. 1–31.
- AVEN, T. On the meaning of a black swan in a risk context. *Safety Science*, v. 57, p. 44–51, 2013.
- AVEN, T. Implications of black swans to the foundations and practice of risk assessment and management. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 134, 2015.
- BOJKE, L. et al. Eliciting distributions to populate decision analytic models. *Value in Health*, v. 13, n. 5, p. 557–564, 2010.
- BURGMAN, M. et al. ACERA Project 0611 Eliciting Expert Judgments. *Risk Analysis*, p. 1–71, 2006.
- CLEMEN, R. T. Comments: Comment on Cooke’s classical method. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 93, n. 5, p. 760–765, 2008.
- FLAGE, R.; AVEN, T. Emerging risk – Conceptual definition and a relation to black swan type of events. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 144, n. August, 2015.
- GARTHWAITE, P. H.; KADANE, J. B.; HAGAN, A. O. Statistical Methods for Eliciting Probability Distributions. *Journal of the American Statistical Association*, v. 100, n. 470, p. 680–701, 2005.
- HOSACK, G. R.; HAYES, K. R.; BARRY, S. C. Prior elicitation for Bayesian generalised linear models with application to risk control option assessment. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 167, p. 351–361, 1 nov. 2017.
- IOANNOU, I. et al. Expert judgment-based fragility assessment of reinforced concrete buildings exposed to fire. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 167, p. 105–127, 1 nov. 2017.
- MACDONALD, J. A.; SMALL, M. J.; MORGAN, M. G. Explosion probability of unexploded ordnance: Expert beliefs. *Risk Analysis*, v. 28, n. 4, p. 825–841, 2008.
- MORRIS, D. E.; OAKLEY, J. E.; CROWE, J. A. A web-based tool for eliciting probability distributions from experts. *Environmental Modelling and Software*, v. 52, p. 1–4, 1 fev. 2014.
- OAKLEY, J. SHELF: Tools to Support the Sheffield Elicitation Framework, 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=SHELF>
- PATÉ-CORNELL, E. On “Black Swans” and “Perfect Storms”: Risk Analysis and Management When Statistics Are Not Enough. *Risk Analysis*, v. 32, n. 11, p. 1823–1833, 2012.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <https://www.r-project.org/>
- TALEB, N. N. *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. 2. ed. [s.l.] Random House, 2010.
- USHER, W.; STRACHAN, N. An expert elicitation of climate, energy and economic uncertainties. *Energy Policy*, v. 61, p. 811–821, 2013.
- WIKIPEDIA. (2017). Voo Gol 1907. Retrieved from [https://pt.wikipedia.org/wiki/Voo\\_Gol\\_1907](https://pt.wikipedia.org/wiki/Voo_Gol_1907)