

# GESTÃO DE ATIVOS APLICANDO MÉTODOS PARA SANEAMENTO DE DADOS\*

Daniele Aline Pessoa da Rocha <sup>1</sup>  
Willy Ank de Moraes <sup>1,2</sup>

## Resumo

A gestão de ativos tem se mostrado cada vez mais essencial às corporações devido a sua filosofia de acompanhamento de todo o ciclo de vida dos ativos. Este acompanhamento proporciona uma melhor visão de todo o negócio e contribui de forma eficaz para a elaboração de estratégias e tomadas de decisão. As análises de engenharia de confiabilidade constituem os principais pilares para a aplicação da gestão de ativos, uma vez que possuem ferramentas estatísticas que contribuem para a determinação do comportamento de vida dos ativos. Para qualquer análise estatística, a confiabilidade dos dados de entrada é primordial para o sucesso das ações provenientes dos resultados obtidos. Caso haja muita dispersão, a análise poderá ficar comprometida e até mesmo apontar para decisões inadequadas. A lógica paraconsistente se apresenta como adequada para o saneamento de dados, pois é famosa por sua característica de tratar contradições ou inconsistências, diferentemente da lógica clássica. Portanto, o resultado apresentado neste estudo procura relacionar a análise de dados de vida pela Distribuição Weibull 3 parâmetros com a Lógica Paraconsistente Anotada com anotação de dois valores LPA2v.

**Palavras-chave:** Gestão de Ativos, Confiabilidade, Probabilidade de Falha, Lógica Paraconsistente

## ASSET MANAGEMENT APPLYING METHODS FOR DATA SANITIZATION

### Abstract

There is increasing evidence that asset management is essential to corporations because of its inherent feature of tracking the entire asset life cycle. This monitoring provides a better view of the whole business and contributes effectively to the preparation of strategies and decisions. The reliability engineering analysis is one of the main pillars for the application of asset management, since it relies on statistical tools that determine the entire life behavior of the assets. Regardless which statistical analysis will be used, the reliability of the input data is paramount for the success of the actions resulting from the obtained results. If there is a great dispersion, the analysis may be compromised and even point out to inadequate decisions. Paraconsistent logic presents itself as adequate for data sanitization, being known for its characteristic of treating contradictions or inconsistencies, unlike the classical logic. Therefore, the results presented in this study seeks to relate the analysis of life data by the 3 parameters Weibull Distribution with the Paraconsistent Annotated Logic with annotation of two values PAL2v.

**Keywords:** Asset Management, Reliability, Probability of Failure, Paraconsistent Logic.

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Mestrado, PPGEMec, Universidade Santa Cecília, Santos, SP, Brasil. E-mail: danielaeline@yahoo.com.

<sup>2</sup> Doutorando, Mestre, Engenheiro e Técnico em Metalurgia e Materiais, Consultor Técnico na INSPEBRAS, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica, Professor Adjunto, UNISANTA, Santos, SP, Brasil. E-mail: willyank@unisanta.br.

## 1. INTRODUÇÃO

Pela norma ISO 55000 [1], define-se Gestão de Ativos como uma atividade coordenada de uma organização para obter valor a partir de seus ativos, o que envolve equilíbrio entre custos, riscos e desempenho. Já o conceito de ativo diz que: “Ativo é um item, algo ou entidade que tem valor real ou potencial para uma organização. Este valor pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro, e inclui a consideração de riscos e passivos. Ele pode ser positivo ou negativo, em diferentes estágios da vida do ativo.

Os ativos físicos geralmente referem-se a equipamentos, estoques e propriedades de posse da organização. Os ativos físicos são o oposto de ativos intangíveis, que são ativos não físicos, como contratos, marcas, ativos digitais, direitos de uso, licenças, direitos de propriedade intelectual, reputação ou acordos. O agrupamento de ativos referidos como um sistema de ativo também pode ser considerado como um ativo” [1]. Sendo assim o ciclo de vida de um bem (um dos ativos) pode ser definido como todas as etapas envolvidas na gestão de ativos desde sua especificação até seu descomissionamento.

Ultimamente, o conceito de gerenciamento de ativos tem ganhado destaque em grandes corporações que buscam a excelência em seus processos. Esta atividade leva a uma oportunidade de controlar e prever, de forma eficiente, o ciclo de vida dos ativos da corporação e, assim, melhorar a tomada de decisões, ao englobar os seguintes itens [2]:

- a) Avaliação se os custos operacionais e/ou de manutenção durante a vida remanescente do ativo excedem o custo de substituição;
- b) Se há risco iminente de falha do ativo;
- c) Quantificar se o impacto de uma provável falha supera ou não o custo de sua substituição;
- d) Diagnosticar se uma provável falha poderia comprometer a confiabilidade e a segurança do sistema e de pessoas;
- e) Em que momento os ativos tornam-se obsoletos e ineficientes, inviabilizando seu uso na manutenção do negócio;
- f) Se os ganhos com a substituição implicariam na melhoria de indicadores relativos à segurança de pessoas, do meio ambiente e de desempenho da empresa.

Observa-se que nos itens “b”, “c” e “d” fica evidente a importância de se quantificar a probabilidade de falhas para o gerenciamento de ativos. Portanto não é possível considerar gestão de ativos sem a aplicação da Engenharia de Confiabilidade, uma vez que as ferramentas utilizadas por esta área são comprovadamente eficazes para a quantificação e análises associadas ao ciclo de vida de ativos físicos. A LDA, “*Life Data Analysis*” ou “Análise dos Dados de Vida”, é uma ferramenta da engenharia de confiabilidade que utiliza distribuições estatísticas para quantificação da Confiabilidade e da Probabilidade de Falha de um ativo, em função de um determinado período de tempo, ou de ciclos, ou dos esforços aplicados, ou de outros parâmetros. A distribuição mais utilizada por este tipo de análise, pela sua flexibilidade no modelamento de dados aleatórios é a distribuição de Weibull.

Outro ponto extremamente importante para a tomada de decisão, a partir de um modelamento do ciclo de vida, são os dados coletados do ativo sob análise. Tais dados podem ser obtidos via instrumentação de acompanhamento de parâmetros de controle e/ou manualmente, através de relatórios sistêmicos.

Nos dois meios de coleta de dados observa-se a constante presença de ruídos nas medições e diversos erros nos relatos registrados, cenário que leva a contradições

e/ou inconsistências nas análises. Tais dados contaminados com ruídos e erros podem ser chamados de imperfeitos, podendo abranger informações imprecisas, inconsistentes, parcialmente ignoradas e até mesmo incompletas. Neste sentido, pode-se considerar que um dos motivos para a imperfeição dos dados são as diferentes fontes ou formas de coleta [3].

Portanto, partindo-se da premissa de que os dados são coletados e processados com um certo grau de imperfeição, torna-se imprescindível realizar o saneamento destes dados. Com isso, a análise do ciclo de vida torna-se mais consistente e assertiva, subsidiando tomadas de decisão que levarão a uma gestão de ativos mais efetiva.

Um dos meios amplamente aplicados para tratar situações contraditórias é a aplicação de lógicas paraconsistentes, uma vez que elas consideram mais estados do que as lógicas clássicas, que se limitam a trabalhar de forma binária. As Lógicas Paraconsistentes nasceram da necessidade de se encontrar meios de dar tratamento às situações contraditórias [4], assim mostrando grande potencial para este trabalho. Por isso, com o intuito de trazer mais assertividade à análise de dados de vida dos ativos empresariais, este estudo avaliou a aplicabilidade da lógica paraconsistente, mais especificamente a Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores LPA2v..

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Distribuição Weibull – 3 Parâmetros

A distribuição Weibull é indicada para a modelagem de tempos até a falha, pois apresenta funções de risco constante, estritamente crescente e decrescente, tornando-se uma das distribuições mais importantes e clássicas no modelamento da confiabilidade. Sua flexibilidade e capacidade de representar dados da vida de um ativo com comportamentos diferentes, pode ser o ponto de partida adequado para uma análise de confiabilidade [5].

A distribuição Weibull tem se demonstrado de grande eficiência na determinação do período de vida de produtos e processos em diversas áreas práticas, como por exemplo: aeroespacial, automotiva, geração de energia, saúde, etc [6].

Sendo assim a distribuição Weibull é amplamente empregada em análises quantitativas da confiabilidade para a determinação do ciclo de vida de um sistema, ou ativo, devido a aleatoriedade e não normalidade dos dados de entrada.

#### 2.1.1. Função Confiabilidade $C(x)$ :

A aplicação da distribuição de Weibull, para determinar o ciclo de vida de um ativo ao longo de um determinado período, leva ao cálculo da sua confiabilidade. Tal parâmetro pode ser representado matematicamente através da equação (1) [7]:

$$C(x) = 1 - \int_0^x f(x) dx \quad (1)$$

Sendo:

$C(x)$  = Confiabilidade;

$f(x)$  = Função da densidade de probabilidade (f.d.p);

$x$  = Período de vida.

A distribuição de Weibull com 3 parâmetros é definida pela sua função da densidade de probabilidade (f.d.p) e pode ser representada matematicamente pela equação (2), desde que os parâmetros sejam maiores que zero, ou seja  $x > 0$ ;  $\beta > 0$ ;  $\eta > 0$ :

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2)$$

Sendo:

$\beta$  = Parâmetro de forma ou dispersão;

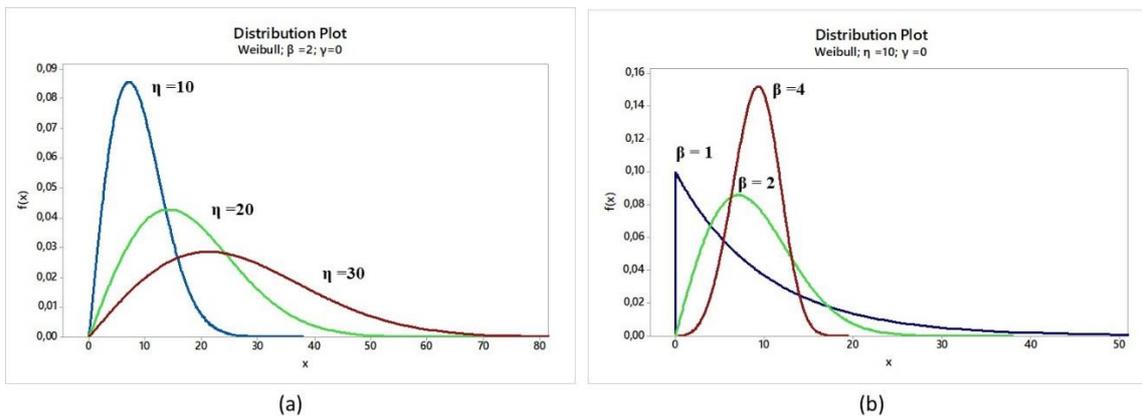
$\eta$  = Parâmetro de escala ou deslocamento;

$\gamma$  = Parâmetro de localização.

Substituindo a equação (2), para  $f(x)$ , na equação (1), de  $C(x)$ , e calculando a sua integral, têm-se a função de confiabilidade conforme a equação (3):

$$C(x) = e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

A Figura 1.a exemplifica a atuação do parâmetro de escala,  $\eta$ , que corresponde ao tempo de vida ou ciclo de vida de um ativo no gráfico, aumentando este parâmetro observa-se uma maior atenuação da curva ao longo eixo da abscissa onde está representada a variável “x”. Já na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**b, foram considerados três valores distintos para o parâmetro de forma,  $\beta$ , correspondente ao tempo ou ciclo de vida de um ativo na distribuição de Weibull. Foram obtidas três curvas de comportamentos distintos, nas quais quando  $\beta = 1$ , a distribuição torna-se exponencial, quando  $\beta = 2$ , a função se aproxima da distribuição de Rayleigh ou logonormal e  $\beta = 4$  se aproxima da distribuição Normal, ou de Gauss [8].



**Figura 1.** Gráfico de distribuição Weibull 3 parâmetros: ( $\eta = 10$ ,  $\eta = 20$  e  $\eta = 30$ ) (a) - Gráfico de distribuição Weibull 3 parâmetros: ( $\beta = 1$ ,  $\beta = 2$  e  $\beta = 4$ ) (b)

Portanto conclui-se que parâmetro  $\beta$  é responsável pela inclinação da distribuição Weibull, ou seja, associada à dispersão da probabilidade acumulada prevista de falha. Desta forma, o parâmetro  $\beta$  torna-se um indicador adimensional de controle de previsibilidade, que faz com que as curvas de distribuição de Weibull se assemelhem a outras distribuições conhecidas [7].

### 2.1.2. Função Probabilidade de Falha $P(x)$ :

A probabilidade de falha pode ser considerada como o inverso da confiabilidade, ou da probabilidade de não falha, de um determinado ativo. Assim sendo, a sua equação pode ser obtida baseando-se na equação (1) e (2):

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

Afim de se padronizar o presente estudo com outros desenvolvimentos feitos pelos autores, a equação (4), de probabilidade de falha, será reescrita da seguinte maneira:

$$P(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_u}{x_0}\right)^m} \quad (5)$$

Onde:

$m = \beta$  parâmetro de Weibull ou de forma da distribuição e diz respeito à dispersão dos dados em relação à média.

$x_0 = \eta$  é um fator de escala, servindo para adimensionalizar o resultado.

$x_u = \gamma$  é o menor valor possível do parâmetro medido, ou seja, é a quantidade mínima para ocorrência da falha.

## 2.2. Lógica Paraconsistente Anotada de Anotação com dois valores - LPA2v

A aplicação da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v torna-se adequada para a utilização quando há duas ou mais proposições definidas por diferentes sistemas especialistas. As saídas destas proposições podem apresentar estados lógicos resultantes de dois tipos [4]:

- Extremos: Falso, Verdadeiro, Inconsistente e Paracompleto;
- Não extremos: uma combinação de tendências dos estados extremos, conforme a posição do ponto não extremado.

A Figura 2 ilustra uma representação gráfica dos estados lógicos extremos no chamado “reticulado finito de quatro estados”, tipicamente empregado na análise paraconsistente.

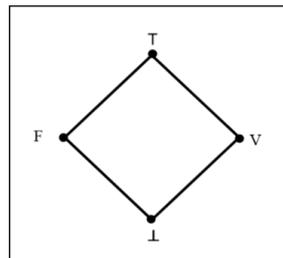


Figura 2. Reticulado finito de “quatro estados” [4]

Onde:

**T** – Estado lógico Inconsistente;

**V** – Estado lógico Verdadeiro;

**F** – Estado lógico Falso;

**L** – Estado lógico Paracompleto ou Indeterminado.

Desta forma fixando um operador  $\sim$  do tipo:  $|T| \rightarrow |T|$ . Este operador “ $\sim$ ” constitui o “significado” do símbolo lógico de negação, “ $\neg$ ”, sendo assim os outros valores do reticulado serão:

- $\sim T = T \rightarrow$  A “negação” de uma proposição inconsistente é inconsistente;
- $\sim V = F \rightarrow$  A “negação” de uma proposição “verdadeira” é “falsa”;
- $\sim F = V \rightarrow$  A “negação” de uma proposição “falsa” é “verdadeira”;
- $\sim L = L \rightarrow$  A “negação” de uma proposição “paracompleta” é “paracompleta” [7].

Utilizando as regras citadas anteriormente no reticulado de “quatro estados” pode-se representar o reticulado de Hasse para a Lógica Paraconsistente Anotada, de anotação com dois valores (LPA2v) conforme Figura 5 [9]:

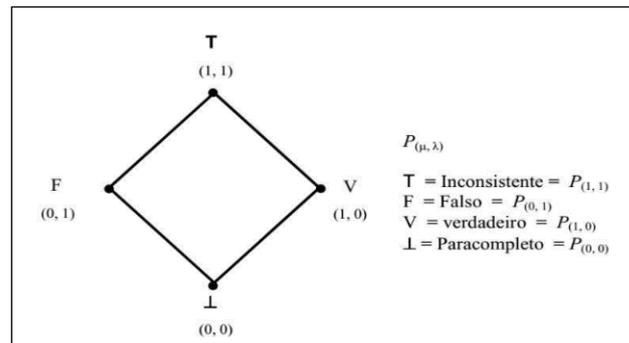


Figura 3. Reticulado finito de Hasse [9]

Assim pode-se considerar:

- “ $\mu$ ” → Grau em que as evidências favoráveis sustentam a proposição  $P(\mu, \lambda)$ .
- “ $\lambda$ ” → Grau em que as evidências desfavoráveis ou contrárias negam ou rejeitam a proposição  $P(\mu, \lambda)$ .

Assim, a coordenada  $(\mu, \lambda)$  é uma anotação da PAL2v e um dado paraconsistente pode ser representado por  $P(\mu, \lambda)$ . Tais dados tornam-se um espaço de anotação de dois valores no reticulado de Hasse, no qual:  $\tau = \{(\mu, \lambda) \mid \mu, \lambda \in [0, 1] \subset \mathbb{R}\}$ .

Considerando que o dado paraconsistente  $P$  é uma fórmula básica, a definição do operador:  $\sim|\tau| \rightarrow |\tau|$  pode ser reescrita como:  $\sim [(\mu, \lambda)] = (\lambda, \mu)$  [10]. Portanto os estados lógicos extremos nos quatro vértices do reticulado passam a ser representados, com os valores dos graus de evidência favorável e desfavorável, da seguinte forma:

- 1  $PT = P(1, 1) \Rightarrow$  A anotação, composta pelos graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição  $P$  uma leitura intuitiva que  $P$  é inconsistente;
- 2  $PV = P(1, 0) \Rightarrow$  A anotação, composta pelos graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição  $P$  uma leitura intuitiva que  $P$  é verdadeira;
- 3  $PF = P(0, 1) \Rightarrow$  A anotação, composta pelos graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição  $P$  uma leitura intuitiva que  $P$  é falsa;
- 4  $P\perp = P(0, 0) \Rightarrow$  A anotação, composta pelos graus de Evidência favorável e desfavorável, atribui à proposição  $P$  uma leitura intuitiva que  $P$  é indeterminada [7].

O Quadrado Unitário no Plano Cartesiano também conhecido com QUPC (reticulado  $\tau$ ) representa as anotações de uma proposição  $P$ , por meio de um sistema de coordenadas cartesianas. Isso é ilustrado na Figura 6 (a) [11], na qual está descrita as condições dos estados lógicos extremos da seguinte forma:  $T \rightarrow (1, 1)$ ;  $\perp \rightarrow (0, 0)$ ;  $F \rightarrow (0, 1)$ ;  $V \rightarrow (1, 0)$ . Neste caso, os valores do grau de evidência favorável “ $\mu$ ” foram dispostos no eixo das abscissas ( $x$ ) e os do grau de evidência desfavorável “ $\lambda$ ” no eixo das ordenadas ( $y$ ).

A anotação  $(\mu, \lambda)$ , conforme definida na Figura 4.a, pode ser representada por um ponto no mesmo plano, porém em outro sistema de coordenadas mais conveniente. Neste caso, ao definir um sistema de coordenadas fixas para o reticulado  $\tau$  poderá ser realizada a transformação do QUPC para um reticulado  $\tau_1$ , conforme Figura 4.b. O reticulado  $\tau_1$  pode ser definido como simplesmente o reticulado  $\tau$  munido de um outro sistema de coordenadas.

Pode-se então associar as coordenadas dos estados lógicos do QUPC às posições equivalente no reticulado  $\tau_1$  de forma que:  $T \rightarrow (0, 1)$ ;  $\perp \rightarrow (0, -1)$ ;  $F \rightarrow (-1, 0)$ ;  $V \rightarrow (1, 0)$ . Assim, o reticulado  $\tau_1$  pode ser obtido a partir do QUPC através de três etapas:

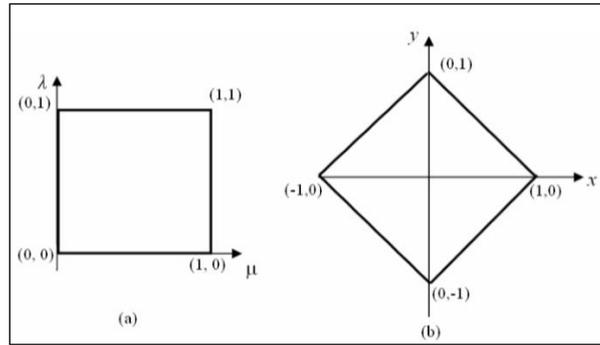


Figura 4. O QUPC ou reticulado  $\tau$  (a) e o reticulado  $\tau_1$  (b) [3]

1. Aumento de escala em QUPC de  $\sqrt{2}$ , conforme equação (6):

$$T_1(x, y) = (\sqrt{2x}, 2y) \quad (6)$$

2. Rotação em  $45^\circ$  com relação a origem é fornecida pela transformação linear, segundo equação (7):

$$T_2(x, y) = \left( \frac{\sqrt{2}}{2}x - \frac{\sqrt{2}}{2}y, \frac{\sqrt{2}}{2}x + \frac{\sqrt{2}}{2}y \right) \quad (7)$$

3. Translação fornecida pela transformação da equação (8):

$$T_3(x, y) = (x, y - 1) \quad (8)$$

Conjugando as equações (6), (7) e (8), obtêm-se:

$$T_3(x, y) = (x - y, x + y - 1) \quad (9)$$

### 2.2.1. Grau de Certeza “ $G_c$ ” e Grau de Contradição “ $G_{CT}$ ”

Utilizando a equação (9), obtida para a transformação do QUPC para o reticulado  $\tau_1$ , torna-se possível converter os pontos do QUPC que representam anotações de  $\tau$  em pontos de  $\tau_1$ , que por sua vez também representam anotações de  $\tau$ . A nomenclatura usual a LPA2v pode ser relacionada aos componentes da transformação  $T_3(x, y)$  fornecendo assim as seguintes proposições para os graus de evidência favorável e desfavorável:

- $x = \mu$  - Grau de Evidência favorável;
- $y = \lambda$  - Grau de Evidência desfavorável.

Com o emprego da nomenclatura da LPA2v, o primeiro termo obtido no par ordenado da equação da transformação,  $(x-y) = (\mu-\lambda)$ , passa a ser denominado de Grau de Certeza  $G_c$ , sendo calculado pela equação (1), da seguinte maneira:

$$G_c = \mu - \lambda \quad (10)$$

- I. Os seus valores pertencem ao conjunto  $\mathfrak{R}$  e variam no intervalo fechado +1 a -1 no eixo horizontal do reticulado  $\tau_1$ , que é denominado de “Eixo dos Graus de Certeza”.
- II. Se  $G_c$  é determinado como +1 significa que o estado lógico resultante da análise paraconsistente é “Verdadeiro”;
- III. Se  $G_c$  é determinado com -1 significa que o estado lógico resultante da análise é “Falso”.

Já para a obtenção do segundo termo através da equação de transformação (9), pode-se considerar que  $(x+y-1)=(\mu+\lambda-1)$  como sendo denominado de Grau de Contradição  $G_{ct}$ , assim calculado conforme equação (11):

$$G_{ct} = \mu + \lambda - 1 \quad (11)$$

Os seus valores pertencem ao conjunto  $\mathfrak{R}$  e variam no intervalo fechado +1 e -1 no eixo vertical do reticulado, denominado de “Eixo dos graus de Contradição”.

- I. Os seus valores também pertencem ao conjunto  $\mathfrak{R}$  e variam no intervalo fechado +1 a -1 no eixo vertical do reticulado, neste caso, denominado de “Eixo dos graus de Contradição”.
- II. Se  $G_{ct}$  é determinado como +1 significa o estado lógico resultante da análise paraconsistente é “Inconsistente”;
- III. Se  $G_{ct}$  é determinado como -1 significa que o estado lógico resultante da análise é “Indeterminado”.

### 2.3. Quantificação da Contradição

A LPA2v pode ser aplicada na análise dos dados de vida de um ativo de forma a quantificar as contradições das informações obtidas de mais de um (sistema ou fonte) especialista distinto. Os dados obtidos pelos especialistas serão transformados em Grau de Evidência Favorável, que pode ser considerado como a “crença” em determinada proposição e em Grau de Evidência Desfavorável, que é a “descrença” nesta mesma proposição. Estes dois dados serão considerados como sendo as alimentações de entrada para a análise pela LPA2v.

Após selecionadas as fontes de dados, empregadas para oferecer as informações de entrada, tais dados serão equacionados e representados graficamente no reticulado LPA2v. Com isso, os estados lógicos resultantes poderão ser utilizados como referências no processo de tomada de decisão, conforme estruturado na Figura 5 [11]. O método utilizado para os modelamentos do presente trabalho considerou medições obtidas através de uma simulação empírica de dois sistemas especialistas. Neste caso, foram adotados os seguintes passos para as análises:

1. Primeiramente foram especificados parâmetros típicos para a função de probabilidade de Weibull (dispersão “m”, escala “x0” e deslocamento “xu”), baseados em dados empíricos industriais;

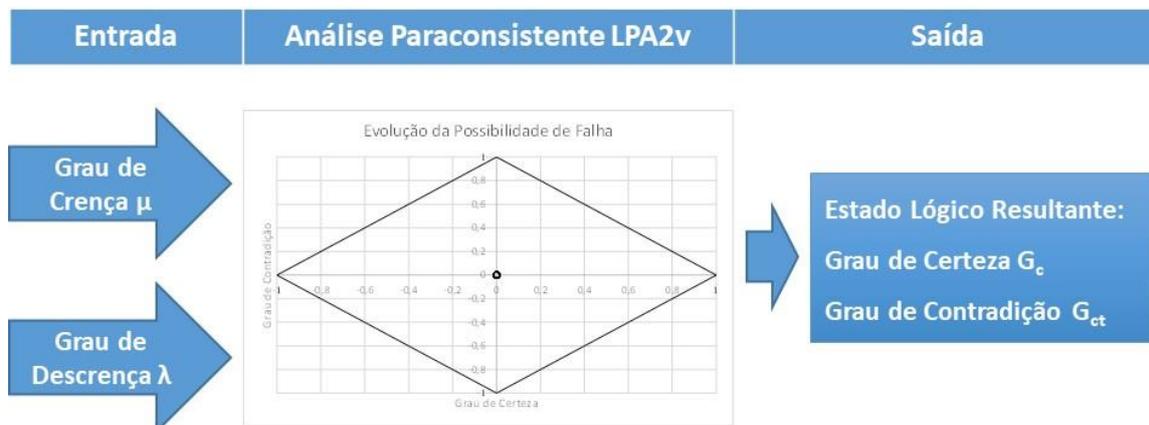


Figura 5. Sistema básico para Análise LPA2v [11]

2. As distribuições Weibull foram confrontadas em um gráfico construído no *software Minitab*® a fim de se predizer o comportamento em vida do ativo, utilizando os parâmetros definidos no passo 1, com as informações oriundas de dois especialistas;
3. Utilizou-se uma planilha do *software Microsoft Excel*® para simular os dados que seriam oriundos das medições diretas de dois especialistas 1 e 2 (na prática essas medições poderiam ser obtidas por meio de instrumentação adequada que coletam dados imprescindíveis para o monitoramento das condições operacionais e estruturais do ativo, como por exemplo, temperatura, vibração, pressão, vazão, nível de ruído, resistência mecânica, etc.)
4. Definidas as probabilidades de falhas para os sistemas especialistas 1 e 2, alimentando os dados simulados na distribuição de Weibull e obtendo  $P(\text{falha}) = f(m, x_0, x_u)$ .
5. Com as informações para descrever o comportamento em vida do ativo, definiram-se o Grau Crença  $\mu_1$  e Grau de Descrença  $\mu_2$  para aplicação da análise LPA2v. Portanto as entradas ou proposições para cálculo dos estados lógicos foram definidos da seguinte maneira para este trabalho:
  - a) Prop. Espec. 1  $\rightarrow P(x) = \text{Grau de Crença } \mu_1$ ;
  - b) Prop. Espec. 2  $\rightarrow 1 - P(x) = \text{Grau de Descrença } \mu_2$ .
6. Com as proposições definidas foram calculados o Grau de Certeza  $G_c$  e o Grau de Contradição  $G_{ct}$  conforme equações (12) e (13):
$$G_c = \mu_1 - \mu_2 \quad (12)$$
$$G_{ct} = (\mu_1 - 1) + \mu_2 \quad (13)$$
7. Construção do gráfico reticulado utilizando os estados lógicos resultantes do passo 6;
8. Análises dos resultados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nos modelamentos a seguir consideraram simulações com a utilização de dados empíricos para a determinação das incertezas provenientes de dois especialistas para o “Grau de Crença” (probabilidade de falha) e o “Grau de Descrença” (probabilidade de não falha ou confiabilidade) durante o período de vida determinado.

As simulações foram realizadas a partir da inserção de diferentes valores para os parâmetros Weibull a fim de se determinar diferentes comportamentos do ciclo de vida do ativo em questão. A Figura 6 descreve o método adotado para a definição do Grau de Crença e Grau de Descrença conforme descrito nos passos 3, 4 e 5. Com o objetivo de se determinar várias condições de incertezas, os parâmetros de entrada da distribuição de Weibull  $P(m, x_u, x_0)$  empregados nos cálculos de probabilidades foram alterados. Com isso obteve-se diferentes simulações para o comportamento em vida de um mesmo ativo. Este comportamento pode ser descrito como a probabilidade do equipamento falhar (Grau de Crença “ $\mu_1$ ”) ou de não falhar (Grau de Descrença “ $\mu_2$ ”) em um determinado período de tempo.

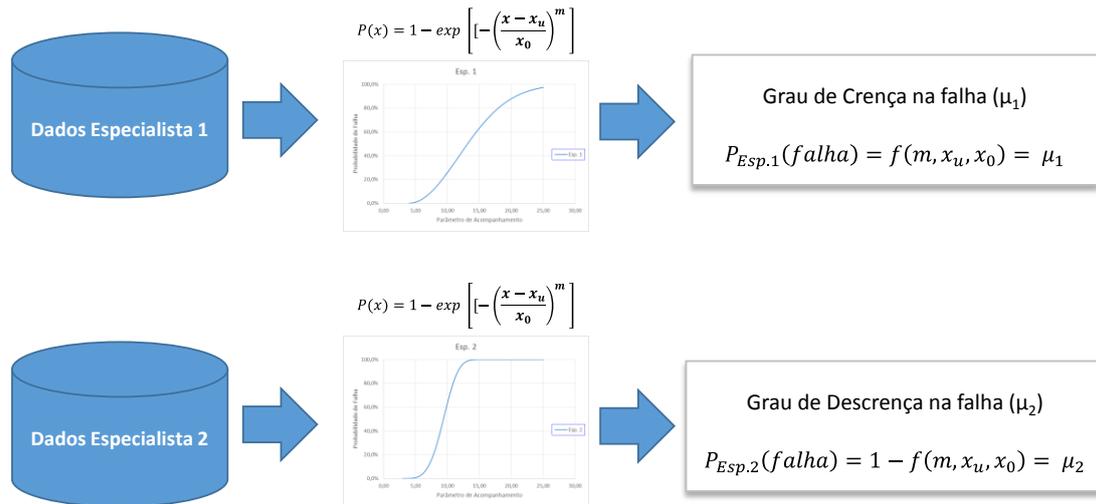


Figura 6. Método de Análise LPA2v para Probabilidades de Falhas  $P(x)$ .

### 3.1. Primeiro Modelamento

No primeiro modelamento foram inseridos valores distintos dos parâmetros Weibull, baseados em dados empíricos industriais, para cada um dos dois especialistas e também acrescentados ruídos aleatórios. Como pode ser observado na Figura 7, a distribuição do indicador de vida do especialista 2 se aproxima da uma gaussiana, que é um reflexo do maior valor para o parâmetro de forma de Weibull deste especialista.

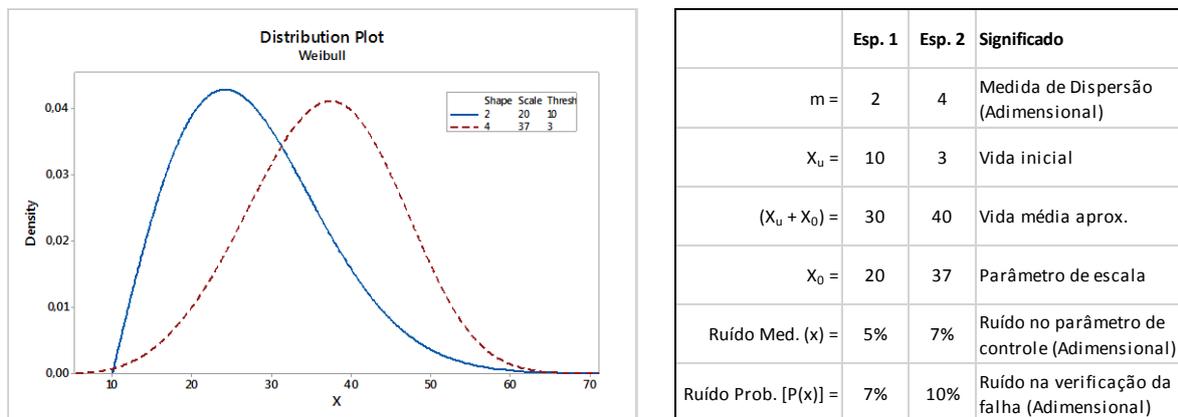


Figura 7. 1º Modelamento. À esquerda, distribuição dos dados dos 2 especialistas. À direita: parâmetros de Weibull definidores da distribuição de valores dos 2 especialistas.

Os resultados apresentados na Tabela 1, para os dois especialistas indicaram um aumento no Grau de Contradição  $G_{ct}$  da LPA2v na probabilidade de falha ou não falha do ativo. No reticulado mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível visualizar este aumento com a elevação dos pontos de inconsistência dos dados analisados.

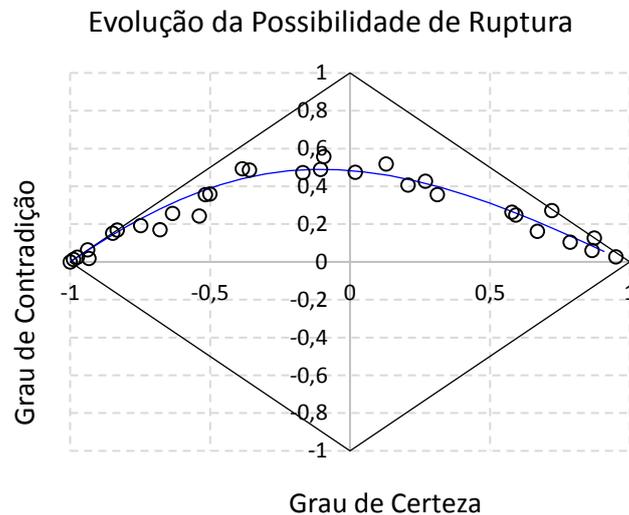
### 3.2. Segundo Modelamento

No segundo modelamento também foram inseridos parâmetros de Weibull baseados em dados empíricos industriais. Porém, conforme ilustrado no gráfico e nos dados mostrados na Figura 9, desta vez o especialista 2 apresentou um comportamento de vida mais disperso em comparação ao especialista 1, segundo definido pelos parâmetros de forma  $m_1 > m_2$ . Desta forma, inverte-se o comportamento do

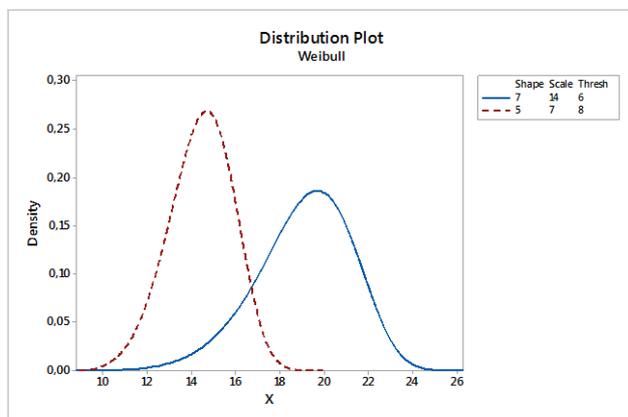
modelamento anterior. Deve-se notar que os parâmetros de definição dos valores dos especialistas neste modelamento são relevantemente diferentes do primeiro modelamento, simulando a análise de um outro ativo e de um conjunto de dados de outro tipo de instrumentos de inspeção.

**Tabela 1.** Resultados Especialistas LPA2v - 1º Modelamento

Esp. 1				Esp. 2				RETICULADO PARACONSISTENTE			
Sem ruído		Com ruído		Sem ruído		Com ruído		Sem ruído		Com ruído	
P(x)	$\mu$	r-P(x) <sub>aj</sub>	$\mu$	P(x)	$\lambda$	r-P(x) <sub>aj</sub>	$\lambda$	G <sub>Certeza</sub>	G <sub>contradição</sub>	G <sub>Certeza</sub>	G <sub>contradição</sub>
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	3,7%	96,3%	-1,00	0,00	-0,96	-0,04
0,4%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	-1,00	0,00	-1,00	0,00
1,8%	1,8%	6,3%	6,3%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	-0,98	0,02	-0,94	0,06
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
96,9%	96,9%	94,5%	94,5%	86,1%	13,9%	82,2%	17,8%	0,83	0,11	0,77	0,12
97,6%	97,6%	97,9%	97,9%	89,7%	10,3%	82,1%	17,9%	0,87	0,08	0,80	0,16
98,2%	98,2%	95,8%	95,8%	92,6%	7,4%	97,8%	2,2%	0,91	0,06	0,94	-0,02



**Figura 8.** Reticulado  $m_1 < m_2$  - Maior  $G_{ct}$  devido a presença “dados inconsistentes”



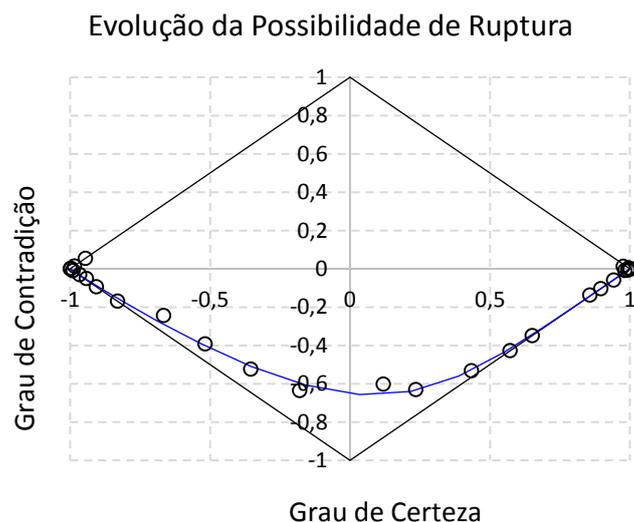
	Esp. 1	Esp. 2	Significado
$m =$	7	5	Medida de Dispersão (Adimensional)
$X_u =$	6	8	Vida inicial
$(X_u + X_0) =$	20	15	Vida média aprox.
$X_0 =$	14	7	Parâmetro de escala
Ruído Med. (x) =	5%	3%	Ruído no parâmetro de controle (Adimensional)
Ruído Prob. [P(x)] =	8%	2%	Ruído na verificação da falha (Adimensional)

**Figura 9.** 2º Modelamento. À esquerda, distribuição dos dados dos 2 especialistas. À direita: parâmetros de Weibull definidores da distribuição de valores dos 2 especialistas.

**Tabela 2.** Resultados Especialistas LPA2v - 2º Modelamento

Esp. 1				Esp. 2				RETICULADO PARACONSISTENTE			
Sem ruído		Com ruído		Sem ruído		Com ruído		Sem ruído		Com ruído	
P(x)	$\mu$	r-P(x) <sub>aj</sub>	$\mu$	P(x)	$\lambda$	r-P(x) <sub>aj</sub>	$\lambda$	G <sub>Certeza</sub>	G <sub>contradição</sub>	G <sub>Certeza</sub>	G <sub>contradição</sub>
0,0%	0,0%	5,0%	5,0%	0,0%	100,0%	1,3%	98,7%	-1,00	0,00	-0,94	0,04
0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%	-1,00	0,00	-1,00	0,00
0,0%	0,0%	4,4%	4,4%	0,0%	100,0%	1,5%	98,5%	-1,00	0,00	-0,94	0,03
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	100,0%	0,0%	1,00	0,00	1,00	0,00
100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	0,0%	100,0%	0,0%	1,00	0,00	1,00	0,00
100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	99,6%	0,4%	1,00	0,00	1,00	0,00

Desta forma os resultados de probabilidade apresentados na Tabela 2 seguem a mesma dinâmica do primeiro modelamento, ou seja, com repostas distintas e com um grau de contradição relevante. O gráfico do reticulado LPA2v continuou apresentando um aumento no nível de contradição, porém agora no eixo negativo do “Grau de Contradição”,  $G_{ct}$ , conforme na Figura 9.

**Figura 10.** Reticulado  $\beta_1 > \beta_2$  - Maior  $G_{ct}$  devido a presença de “dados indeterminados”.

#### 4. CONCLUSÕES

Estudos anteriores já haviam tratado de complementar análises estatísticas com a LPA2v [7]. Porém neste trabalho em particular o principal foco foi a avaliação das informações obtidas de dois sistemas especialistas e quais seriam os estados lógicos resultantes para o grau de crença e grau de descrença. Para isso foram definidos empiricamente com base em resultados reais, parâmetros da distribuição de probabilidade de Weibull que foram utilizados com variações de modo a simular dados de entrada reais dos dois especialistas, que representam a instrumentação e o controle presentes em um ativo.

Com a adição de ruídos aos dados empregados, pode-se observar uma correlação direta com o aumento do grau de contradição dos especialistas, comprovando que existe uma aderência deste parâmetro com os ruídos presentes. Este é um resultado importante, pois comprova que é possível quantificar as incertezas associadas à

imprecisão da instrumentação e a falhas nos controles operacionais empregados na avaliação de ativos, como por exemplo, estruturas e equipamentos industriais.

Outro ponto analisado foi a interferência dos parâmetros Weibull com os graus de certeza e contradição, principalmente as variações dos parâmetros de forma “m” (ou “ $\beta$ ”), associados à dispersão dos dados, e que geram alterações no comportamento dos dados avaliados pelo reticulado da LPA2v.

Conclui-se, então, que aplicação da LPA2v para o saneamento de dados atende ao propósito de identificar possíveis distorções inerentes nas medições e cálculos probabilísticos. Os autores continuarão os estudos, agora realizando a análise poderá evoluir para a identificação do Grau de Certeza Real GCR e assim tornar a tomada de decisão com relação ao ciclo de vida de um ativo mais assertiva.

## REFERÊNCIAS

- 1 ABNT ISO 55000:2014 – Gestão de ativos, visão geral, princípios e terminologia.
- 2 Gestão de Ativos Guia para Aplicação da Norma ABNT NBR ISO 550001 – International Copper Association Latin America - Chile, 2015.
- 3 DA SILVA FILHO, J. I.; “Lógica Paraconsistente e Probabilidade Pragmática no Tratamento de Incerteza”. Revista Seleção Documental, n.9 ano 3 p.16-p.19, 2008.
- 4 DA SILVA FILHO, J. I.; “Métodos de Aplicações da Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores-LPA2v”. Revista Seleção Documental, n.1 ano 1 p.18-p. 25, 2006.
- 5 FOGLIATTO, Flávio Sanson: “Confiabilidade e Manutenção Industrial” – Flávio Sanson Fogliatto e José Luís Ribeiro Duarte – Rio de Janeiro: Elsevier, 265p. 2009.
- 6 LAFRAIA, J. R. B.; “Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade”. Rio de Janeiro. Ed. Qualitymark. Petrobras. 388p. 2001.
- 7 TAVARES, Fernando Gonzales. “Análise Comparativa Para Determinar a Resistência Mecânica a Flexão de Materiais Cerâmicos Utilizando Distribuição de Weibull E Lógica Paraconsistente Anotada Dois Valores”. Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília. 76 p. - Santos, SP, 2015.
- 8 DIAS, Acires. “Confiabilidade na Manutenção Industrial”. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, 19p. Florianópolis, SC, 2009.
- 9 DA SILVA FILHO, J. I., ABE, J. M., LAMBERT, T. G.; “Inteligência Artificial com as Redes de Análises Paraconsistentes”. Editora LTC, 1ª. Ed., Rio de Janeiro, 2008, pp.40-84.
- 10 DA SILVA FILHO, J. I.; “Introdução ao conceito de estado Lógico Paraconsistente”. Revista Seleção Documental, n.17 - ano 5 p.20-p.24, 2010.
- 11 DA SILVA FILHO, J. I., ABE, J. M.; “Fundamentos das redes neurais artificiais paraconsistente”. São Paulo: Editora Arte & Ciência, 188p. 2000.